



Zh. Bakyt^{1,2*}, A. Shynarbek^{1,2}, R. Kussainov^{1,2}, O. Stepanova^{1,2}, A. Zhassulan^{1,2}

¹Shakarim University of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

²Engineering Center,
Republic of Kazakhstan, Semey, Fizkulturnaya str., 4b
*e-mail: bakytzhanel@gmail.com

USE OF ELECTRIC ARC METALLIZATION TO PROTECT METAL SURFACES FROM CORROSION: A STUDY ON THE EXAMPLE OF STEEL 45 AND 30HGSA WIRE

Abstract: The effect of protective coating applied to steel 45 made of 30HGSA wire by electric arc metallization on corrosion resistance compared to untreated steel 45 was investigated. The test methodology included electrochemical analyses such as polarization curves. The results showed that steel 45 coated with 30HGSA wire shows significantly higher corrosion resistance compared to standard steel 45.

The result of this study confirms the significance of electric arc metallization technology as an effective way to improve the corrosion resistance of steels. The application of protective coating of 30HGSA wire on steel 45 not only improves its characteristics, but also provides opportunities for more durable use in aggressive environments. Also, these methods can be adapted for other types of materials, which opens new perspectives in the field of steel structures protection. This research can serve as a basis for the development of new norms and standards in metal fabrication and processing. These results provide valuable scientific data that can contribute to the development of improved corrosion resistant materials for applications in critical industries such as oil and gas, marine and construction projects, and mechanical engineering, where material reliability is a key factor.

Key words: corrosion resistance, steel 45, electric arc metallization, coating, steel surfacing wire.

Introduction

Corrosion of steels used in mechanical engineering is a significant issue that affects the durability, safety, and performance of machines and structural components. Steel, an alloy primarily composed of iron and carbon, is widely employed in mechanical engineering due to its strength, ductility, and cost-effectiveness. However, its susceptibility to corrosion, particularly in harsh environments or when protective measures are inadequate, remains a major drawback [1-2].

The study of steel corrosion in mechanical engineering and industrial applications is not only essential for extending the service life of materials but also for reducing costs, enhancing safety, protecting the environment, and ensuring compliance with regulatory standards [3-6]. To improve the performance of 45 steel, a coating using 30KhGSA wire, which contains chromium and silicon, was applied. This composition provides the coating with enhanced corrosion resistance. Chromium imparts increased corrosion resistance, while silicon contributes to the formation of dense and durable protective layers [7-8]. The use of 30KhGSA wire as a coating material significantly improves the corrosion resistance of 45 steel.

To evaluate the effectiveness of these coatings, electrochemical methods-such as polarization curve measurements-offer valuable insights into the behavior of protective layers in aggressive environments [9-10]. These methods allow for the analysis of current protection strategies and enable predictions of metal behavior over the long term.

The purpose of this study is to assess the impact of a protective coating, applied via electric arc metallization using 30KhGSA wire, on the electrochemical corrosion resistance of 45 steel. The study aims to compare the corrosion resistance of treated and untreated steel to determine the effectiveness of this coating in improving the corrosion properties of structural materials. The results will inform recommendations for utilizing advanced protection technologies in industries where corrosion poses a critical challenge.

Materials and Methods of Research

Corrosion tests were conducted using the potentiodynamic method with a single-channel potentiostat-galvanostat (model CS300M) in a 3% NaCl solution at a temperature of $\pm 25^{\circ}\text{C}$. To define the test area, materials such as adhesive tape were used, while a protective varnish coating was applied to isolate the non-tested regions of the sample. It is crucial that the surface areas of the samples under analysis be identical during potentiodynamic testing, to ensure that the results obtained under the same conditions are comparable.

In one glass cell, the reference electrode (R) with a known constant potential was a silver chloride electrode filled with NaCl solution. The second cell contained the auxiliary electrode (C), which was a platinum electrode, and the working electrode (W), consisting of the test samples of 45 steel with and without a coating. The surface area of the working electrode was maintained at 1 cm^2 . The cells were connected by a salt bridge containing sodium chloride, with both sides covered by filter paper to prevent the mixing of solutions between the cells. This setup ensured the accuracy of the potential measurements, as mixing could distort the results. Before installation into the test circuit, the samples were cleaned and degreased using ethyl alcohol.

The working electrode (steel samples) served as the object of study, which acted as an anode during the corrosion process. When the working electrode lost electrons (oxidized), it functioned as an anode. The auxiliary electrode (platinum) acted as the cathode, supplying current for the reactions occurring at the working electrode.

The CS Studio6 software was used to determine the values of potential, current density, corrosion rate, and Tafel slopes (b_a , b_c). The graphs were plotted in logarithmic form, with the current density scale presented logarithmically. In addition, the software allowed for visual monitoring of the curve construction on the computer.

Results and discussion

During the experiment, a graph of polarization curves was obtained (Figure 1).

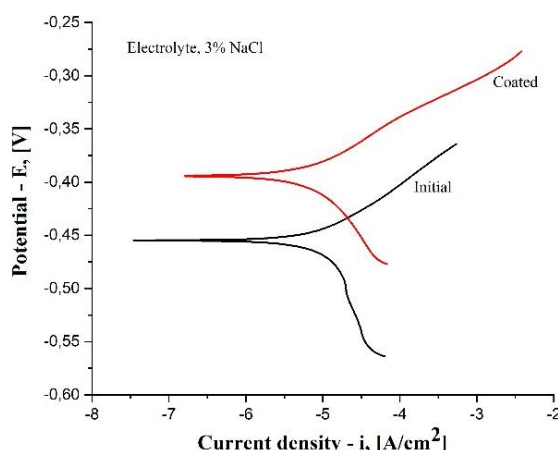


Figure 1 – Polarization curves of samples in 3% NaCl solution

Polarization curves are constructed by applying a variable electric potential to the sample and measuring the corresponding current density response. These curves visually represent how the corrosion behavior of the material changes under different electrochemical conditions. A key parameter in electrochemical studies is the corrosion potential (E_{corr}), which reflects the metal's tendency to corrode in a specific environment. A lower E_{corr} value indicates increased corrosion activity, suggesting accelerated material degradation.

The corrosion current density (I_{corr}), measured during polarization tests, is directly related to the rate of corrosion processes. Higher values of I_{corr} indicate more intense material degradation and, consequently, a lower effectiveness of protective coatings or reduced corrosion resistance of the material. Tafel slopes, obtained from the linear portions of the polarization curves, characterize the kinetics of anodic and cathodic reactions on the metal surface, providing insight into how changes in potential influence the rates of these reactions.

The polarization parameters of the samples after the experiment are summarized in Table 1.

Table 1 – Polarization parameters of samples

Samples	$-E_{\text{corr}}$ (mB)	I_{corr} (A/cm ²)	r_{corr} (mm/a)	Tafel tilts (mV)	
				ba	bc
Initial	454,87	1,6481E-05	0,19334	61,785	277,99
With coating	394,2	6,5093E-06	0,076362	42,783	82,834

During the electrochemical tests, it was found that both samples exhibited negative corrosion potentials, a characteristic feature of oxidative (anodic) processes in electrochemical corrosion. A negative potential indicates that the metal tends to lose electrons, contributing to its dissolution as an anode. Observations revealed that the corrosion current density of the coated sample was significantly lower than that of the uncoated 45 steel sample, indicating a reduced corrosion rate. This confirms that the 30KhGSA wire coating effectively decreases the corrosion rate compared to standard 45 steel.

Additionally, the Tafel slopes for the coated sample were shallower in both the anodic and cathodic regions, suggesting a reduced dependence of the corrosion reaction rate on potential changes. This may indicate a more stable electrochemical system, further emphasizing the effectiveness of the protective coating. Flatter Tafel slopes suggest that the system is less sensitive to fluctuations in reaction dynamics in response to external electrical stimuli. This highlights that the coating not only provides protection against corrosion but also stabilizes the material's behavior under varying operational conditions. These results support the potential for using specialized coatings to enhance the corrosion resistance of structural materials, particularly in aggressive environments.

Conclusion

Based on the obtained results, it can be concluded that the application of protective coatings made from 30KhGSA wire is an effective method to significantly enhance the service life of 45 steel in corrosive environments. This finding offers valuable insights for industries, particularly those where high corrosion resistance of materials is critical.

References

1. Hansson C.M. An introduction to corrosion of engineering materials. / C.M. Hansson // In Corrosion of steel in concrete structures. Woodhead Publishing. – 2023. – P. 1-16. (In English).
2. A review on corrosion of metals and protection / S.V. Yadla et al // International Journal of Engineering Science & Advanced Technology. – 2012. – № 2(3). – R. 637-644. (In English).
3. Corrosion-resistant metallic coatings / F. Presuel-Moreno et al // Materials today. – 2008. – № 11(10). – R. 14-23. (In English).
4. Metody bor'by s korroziei metallov / V.G. Kozlov i dr. // Fundamental'nye issledovaniya. – 2017. – № 6. – R. 53-57. (In Russian).
5. Osnovy ehlektrokhimicheskoi korrozii metallov i splavov: ucheb. posobie / L.G. Petrova, G.YU. Timofeeva, P.E. Demin, A.V. Kosachev. – M.: MADI, 2016. – 148 s. (In Russian).
6. Kaesche H. / Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems / H. Kaesche // Springer Science & Business Media. – 2012. (In English).
7. Isakov, S.A. Metallicheskie pokrytiya dlya zashchity stal'nykh detalei ot korrozii, poluchennyye metodom ehlektrodugovoi metallizatsii. / S.A. Isakov, A.G. Lezhava // Yovye funktsional'nye materialy, sovremennyye tekhnologii i metody issledovaniya. – 2016. – R. 15-16. (In Russian).
8. Vliyanie tekhnologicheskikh rezhimov napyleniya zashchitnykh pokrytii na fiziko-mekhanicheskie i korroziionnye svoystva / M.V. Ushakov i dr. // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 2. – R. 584-590. (In Russian).
9. Polyarizatsionnye kharakteristiki metallicheskih materialov / N.G. Kats i dr. // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2016. – № 1(49). – R. 138-142. (In Russian).
10. Demenkova, L.G. / Izuchenie korrozii metallov metodom snyatiya polyarizatsionnykh krivyykh / L.G. Demenkova, A.V. Sudarikov // In Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii: sbornik trudov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 19-21 maya 2016 g., Yurga, Tomsk. – R. 221-223. (In Russian).

Information about financing

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP14871373).

Ж.Ә. Бақыт^{1,2*}, А.Б. Шынарбек^{1,2}, Р.К. Кусаинов^{1,2}, О.А. Степанова^{1,2}, А.Ж. Жасұлан^{1,2}

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

²Инжинирингтік орталық,
Қазақстан Республикасы, Семей қ., Физкультурная к-сі, 4в

*e-mail: bakytzhanel@gmail.com

МЕТАЛЛ БЕТТЕРІН КОРРОЗИЯДАН ҚОРҒАУ ҮШІН ЭЛЕКТР ДОҒАЛЫҚ МЕТАЛДАНДЫРУДЫ ҚОЛДАНУ: 45 БОЛАТ ПЕН 30ХГСА СЫМ МЫСАЛЫНДА ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: 30ХГСА сымынан 45 болатқа қолданылатын қорғаныш жабынының электр доғалық металдандыру әдісін қолданып, өңделмеген болат 45пен салыстырғанда коррозияға төзімділігіне әсері зерттеу жүргізілді. Сынақ әдістемесіне поляризация қисықтары сияқты электрохимиялық талдаулар кірді. Нәтижелер стандартты 45 болатпен салыстырғанда 30ХГСА сымымен қапталған 45 болаттың коррозияға төзімділігі айтарлықтай жоғары екенін көрсетті.

Осы зерттеудің нәтижесінде болаттардың коррозияға төзімділігін арттырудың тиімді әдісі ретінде электр доғалық металдандыру технологиясының маңыздылығы дәлелденді. 45 болаттан 30ХГСА сымының қорғаныш жабынын пайдалану оның сипаттамаларын жақсартып қана қоймайды, сонымен қатар агрессивті ортада ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігін береді. Сондай-ақ, бұл әдістер басқа материалдар түрлеріне бейімделуі мүмкін, бұл металл конструкцияларын қорғау саласында жаңа перспективаларды ашады. Бұл зерттеу металдарды өндіру мен өңдеуде жаңа нормалар мен стандарттарды әзірлеуге негіз бола алады. Бұл нәтижелер материал сенімділігі негізгі фактор болып табылатын мұнай және газ, теңіз және құрылыс жобалары және машина жасау сияқты маңызды салаларда қолдану үшін жақсартылған коррозияға төзімді материалдарды әзірлеуді жеңілдететін құнды ғылыми деректерді береді.

Түйін сөздер: коррозияға төзімділік, болат 45, электр доғасының металдануы, жабын, балқитын болат сым

Ж.Ә. Бақыт^{1,2*}, А.Б. Шынарбек^{1,2}, Р.К. Кусаинов^{1,2}, О.А. Степанова^{1,2}, А.Ж. Жасұлан^{1,2}

¹Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

²Инжиниринговый центр,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в

*e-mail: bakytzhanel@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ СТАЛИ 45 И ПРОВОЛОКИ 30ХГСА

Было проведено исследование влияние защитного покрытия, нанесенного на сталь 45 из проволоки 30ХГСА методом электродуговой металлизации, на сопротивляемость коррозии по сравнению с необработанной сталью 45. Методика испытаний включала проведение электрохимических анализов, таких как поляризационные кривые. Результаты показали, что сталь 45 с покрытием из проволоки 30ХГСА показывает значительно более высокую коррозионную стойкость по сравнению со стандартной сталью 45.

В результате данного исследования подтверждается значимость технологии электродуговой металлизации как эффективного способа повышения коррозионной стойкости сталей. Применение защитного покрытия из проволоки 30ХГСА на сталь 45 не только улучшает её характеристики, но и предоставляет возможности для более долговечного использования в агрессивных средах. Также, данные методы могут быть адаптированы для других типов материалов, что открывает новые перспективы в области защиты металлоконструкций. Это исследование может служить основой для разработки новых норм и стандартов в производстве и обработке металлов. Эти результаты предоставляют ценные научные данные, которые могут способствовать разработке улучшенных коррозионно-стойких материалов для применения в таких критически важных отраслях, как нефтегазовая промышленность, морские и строительные проекты, машиностроение, где надежность материалов является ключевым фактором.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, сталь 45, электродуговая металлизация, покрытие, проволока стальная наплавочная.

Information about the authors

Zhanel Bakyt* – Master's student of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; junior researcher of the «Engineering Center»; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

Aibek Shynarbek – Master's student of the Department «Mechanical Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; junior researcher of «Engineering Center»; e-mail: aibeek-99@list.ru.

Rinat Kussainov – Senior Lecturer, Department of Physical and Mathematical Sciences and Informatics; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Head of «Engineering Center»; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

Olga Stepanova – Candidate of Technical Sciences, Head of Department «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

Ainur Zhassulan – Master of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey; Republic of Kazakhstan; senior researcher at the «Engineering Center»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Авторлар туралы мәліметтер

Жанел Әділжанқызы Бақыт* – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» кіші ғылыми қызметкері; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

Айбек Бақытжанұлы Шынарбек – «Машина жасау» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» кіші ғылыми қызметкері; e-mail: aibeek-99@list.ru.

Ринат Кенжеевич Кусаинов – физика-математика ғылымдары және информатика кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» жетекшісі; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

Ольга Александровна Степанова – т.ғ.к., «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының меңгерушісі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

Айнұр Жасұланқызы Жасұлан – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» аға ғылыми қызметкері; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Сведения об авторах

Жанел Әділжанқызы Бақыт* – магистрант кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник «Инжинирингового центра»; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

Айбек Бақытжанұлы Шынарбек – магистрант кафедры «Машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник «Инжинирингового центра»; e-mail: aibeek-99@list.ru.

Ринат Кенжеевич Кусаинов – старший преподаватель кафедры физико-математических наук и информатики; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Руководитель «Инжинирингового центра»; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

Ольга Александровна Степанова – к.т.н, заведующая кафедрой «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

Айнұр Жасұланқызы Жасұлан – магистр кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; старший научный сотрудник «Инжинирингового центра»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

Received 22.04.2024

Revised 23.06.2024

Accepted 24.06.2024