Сведения об авторах

Александр Алексеевич Генбач – д.т.н., проф., каф. «Теплоэнергетика и Физика», Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева; e-mail: a.genbach@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3819-4387.

Давид Юрьевич Бондарцев* – PhD, проф. каф. «Теплоэнергетика и Физика», Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева; e-mail: d.bondartsev@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8778-7851.

Маулен Дүйсенбекұлы Ерболатов – докторант каф. «Теплоэнергетика и Физика», Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева; e-mail: erbolatovmaulen@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-5202-6116.

Авторлар туралы мәліметтер

Александр Алексеевич Генбач – т.ғ.д., проф. каф. «Жылу энергетикасы және физика», Ғ. Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті; e-mail: a.genbach@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3819-4387.

Давид Юрьевич Бондарцев* – PhD, проф. каф. «Жылу энергетикасы және физика», Ғ. Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті; e-mail: d.bondartsev@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8778-7851.

Маулен Дүйсенбекұлы Ерболатов – PhD докторанты каф. «Жылу энергетикасы және физика», Ғ. Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті; e-mail: erbolatovmaulen@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-5202-6116.

Information about the authors

Alexander Genbach – d.t.s., prof. dep. «Thermal Power and Physics», Almaty University of Power Engineering and Telecommunications n.a. G. Daukeev; e-mail: a.genbach@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-3819-4387.

David Bondartsev – PhD, prof. dep. «Thermal Power and Physics», Almaty University of Power Engineering and Telecommunications n.a. G. Daukeev; e-mail: d.bondartsev@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8778-7851.

Maulen Duissenbekuly Yerbolatov – PhD student dep. «Thermal Power and Physics», Almaty University of Power Engineering and Telecommunications n.a. G. Daukeev; e-mail: erbolatovmaulen@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-5202-6116.

Поступила в редакцию 05.05.2026
Поступила после доработки 28.08.2026
Принята к публикации 02.09.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-74

IRSTI: 55.09.29

CC BY 4.0
Check for updates

D.R. Baizhan[1,3], Garip Erdogan[2], T. Alimbekuly[1,4*], N.S. Raisov[1], E.E. Birzhan[1]

[1]Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,
070002, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, st. Shakarim, 148
[2]Sakarya University, 54050, Turkey, Sakarya
[3]Shakarim University, 071412, Kazakhstan, Semey, st. Glinki, 20A
[4]D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University,
070000, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, st. Serikbayev, 19
*e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com

EFFECT OF PLASMA HARDENING PARAMETERS ON 65G STEEL STRUCTURE AND PROPERTIES

Abstract: *This article presents a study of the effect of plasma hardening parameters on the structure and properties of grade 65G steel. The effectiveness of plasma treatment in obtaining a hardened surface layer through localized high-speed heating followed by self-cooling of the material was demonstrated. The studies were conducted at plasma arc currents ranging from 130 to 150 A and plasma-forming gas flow rates of 0.22-0.25 L/min, which made it possible to evaluate the influence of the technological parameters on the*

©D.R. Baizhan, Garip Erdogan, T. Alimbekuly, N.S. Raisov, E.E. Birzhan, 2026

characteristics of the resulting layer. The structural and phase composition were analyzed using X-ray diffraction and scanning electron microscopy, while the mechanical and tribological properties of the steel were evaluated using a hardness tester and a tribometer. A comparative study of the properties of 65G steel in the initial state and after plasma surface hardening was carried out. The obtained results indicate that plasma quenching promotes the formation of a gradient microstructure consisting of martensite and retained austenite, with a gradual transition to the initial structure of the material. The maximum microhardness of the hardened layer reaches 670-700 $HV_{0.1}$. At the same time, the wear rate of the treated layer decreases by 5-6 times compared to the initial state. The results of the study confirm the potential of plasma quenching as a method for surface hardening of 65G steel.

Key words: *plasma hardening, 65G steel, microstructure, microhardness, wear resistance.*

Introduction

In industry, plasma hardening is most widely used for hardening components of agricultural machinery, chemical, petrochemical, metallurgical, and other equipment. Unlike traditional heat treatment methods, plasma hardening enables localized hardening and increases process efficiency [1].

Particular interest is research examining the effect of plasma hardening on the hardening of plowshares made of 65G steel [2, 3]. This is because the working elements of tillage machines lose their functionality several times during their seasonal operation [4].

A number of studies have shown that plasma hardening leads to the formation of a martensitic structure, and a gradient-layered structure develops deeper into the hardened zone, characterized by sequential changes in structural components and microhardness in the range of 760-395 HV [2, 5]. It has been established that changing processing parameters (plasma arc current and plasma gas flow rate) significantly affects the hardened layer depth, phase composition, and residual stress level [6].

Despite significant research in the field of plasma hardening, the influence of plasma hardening parameters on the structure and properties of 65G steel has not been fully studied. A combination of parameters is required to ensure maximum zone depth and width, process efficiency, and no surface melting. Since plasma hardening does not cause deformation, parts can be immediately put into operation after processing without final grinding, reducing labor intensity and lowering the cost of the work.

Therefore, the objective of this study is to investigate the influence of plasma hardening parameters on the structure and properties of 65G steel in order to determine optimal processing conditions.

Materials and Methods

This study focused on samples of grade 65G steel. The chemical composition of the steel is shown in Table 1.

Table 1 – Chemical composition of grade 65G steel according to GOST 14959-2016 [7]

Steel	C,%	Si,%	Mn,%	Ni,%	S,%	P,%	Cr,%	Cu,%
65G	0.62- 0.7	0.17- 0.37	0.7-1	up to 0.15	up to 0.025	up to 0.025	up to 0.15	up to 0.2

Plasma hardening was performed using a UDGZ-200 system, which provides localized heating of the part surface using a plasma arc without the use of liquid quenching media [8]. To strengthen thin-walled parts that do not have sufficient mass, intensified cooling methods are used. The main plasma hardening parameters are presented in Table 2.

Table 2 – Plasma hardening parameters for 65G steel processing modes

Processing mode	Plasma arc current, A	Argon flow rate, L/min	Arc length, mm	Plasma torch travel speed, mm/s	Nozzle diameter, mm
PH1_65G	130	0.22	15-20	35-45	9
PH2_65G	150	0.25	15-20	35-45	9

Metallographic analysis of the samples was performed using an SEM3200 scanning electron microscope in BSE mode. Sections were etched in a 4% HNO_3 solution in ethyl alcohol. Microhardness measurements using the Vickers method under a load of 0.98 N (100 g) were performed on a Metolab 502 hardness tester in the cross section of grade 65G steel.

An X'PertPRO X-ray diffractometer using CuKα radiation was used to study the phase composition. The images were taken under the following parameters: tube voltage U = 40 kV; tube current I = 30 mA; Exposure time 0.25 s; shooting step 0.02°. Diffraction patterns were interpreted using HighScore software and the PDF-2 database.

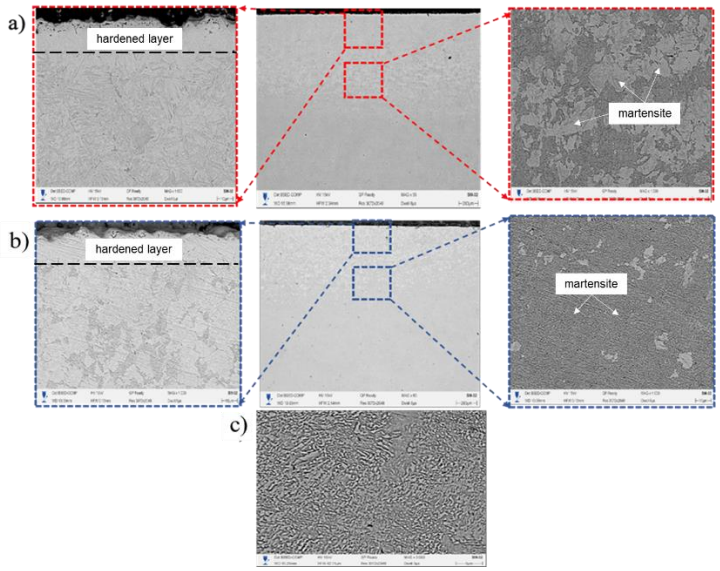
Tribological tests were conducted using the ball-on-disk method in accordance with the ASTM G99 standard on a TRB3 tribometer in dry friction mode [9]. Tribological test parameters: normal load 6 N; sliding velocity 3 cm/s; friction path 100 m; friction trace radius 2 mm. During the tests, the friction coefficient was recorded as a function of the distance traveled, and a subsequent wear assessment was carried out.

Following the ball-on-disk friction test, the wear area was determined using profilometry in accordance with the ISO13565 standard on a TAYLOR HOBSON SURTRONIC S-100 SERIES profilometer [10]. Based on the results of measuring the wear area using the TRB3 tribometer program, the wear rate (wear intensity) of the studied samples was determined.

Results and Discussion

Figure 1 shows the microstructure of grade 65G steel after plasma hardening under different processing conditions: PH1_65G (I=130 A; V_{Ar} = 0.22 l/min) and PH2_65G (I=150 A; V_{Ar} =0.25 l/min).

The microstructural image of the cross-section of the hardened zone obtained in the PH1_65G mode reveals fine-crystalline tempered martensite, forming a light-colored surface layer (Figure 1a). With increasing distance from the surface, a smooth morphological transition to a mixed structure is observed, including lower bainite, martensite, and retained austenite. Lower bainite forms from supercooled austenite at temperatures of 350-200 °C. The original structure of grade 65G steel is characterized by a pearlitic-ferritic microstructure (Figure 1c).



a – PH1_65G (I=130A; V_{Ar} =13 l/h); b – PH2_65G (I=150A; V_{Ar} =15 l/h); c – initial structure

Figure 1 – Cross-sectional microstructure of grade 65G steel after plasma hardening under different processing conditions

Figure 1b shows the cross-sectional microstructure of sample PH2_65G. When studying the structure of the near-surface layers, the problem of interpreting the observed patterns arises. X-ray phase analysis data indicate the presence of retained austenite (γ-Fe) and martensite (α′-Fe) in the sample (Figure 2).

The broadening of the diffraction peaks indicates increased lattice microstrains occurring during hardening. Increased lattice strain with increased carbon content (the carbon content in 65G steel is 0.62-0.7%) is indicated by an increase in the dislocation density in the austenite structure. The X-ray diffraction pattern of sample PH2_65G shows a relatively low intensity of the α-Fe diffraction line, indicating that the sample's microstructure is primarily composed of retained austenite (Figure 1b). The treated surface layers predominantly consist of γ-Fe (retained austenite) with a smaller fraction of α'-Fe (martensitic phase). Quantitative XRD analysis results are presented in Table 3.

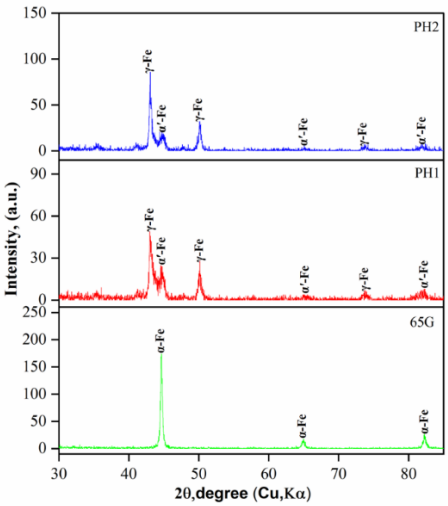


Figure 2 – X-ray diffraction patterns of 65G steel under different plasma hardening conditions (PH1_65G and PH2_65G)

Table 3 – Quantitative phase composition and lattice parameters of the treated surface layers based on X-ray diffraction analysis

Sample	Detected phases	Phase content, wt.%	Lattice parameters, Å
PH1_65G	α'-Fe (martensitic phase)	26.3	a = 2.8513
	γ-Fe (retained austenite)	73.7	a = 3.6292
PH2_65G	α'-Fe (martensitic phase)	19.8	a = 2.8481
	γ-Fe (retained austenite)	80.2	a = 3.6233

In steel hardening, processes based on phase transformations occurring during rapid cooling of the metal, leading to the formation of a martensitic structure, are of greatest interest. Thus, plasma treatment of 65G steel in the PH2_65G mode (I = 150 A; V_{Ar} = 15 l/h), due to increased heat input, leads to a decrease in the surface cooling rate.

Analysis of literature data shows that bainitic transformation achieves a hardness of 650–670 HV [11]. As can be seen from Figure 3, the maximum microhardness of the PH1_65G sample is 670-700 HV0.1, after which it gradually decreases to the microhardness of the base metal with a ferritic-pearlite structure 230 $HV_{0.1}$.

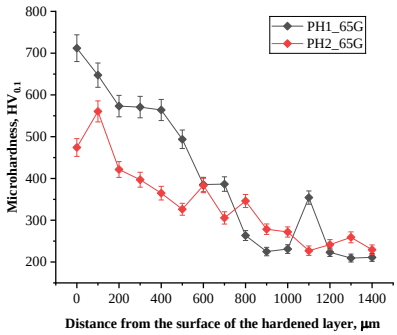


Figure 3 – Microhardness distribution across the depth of the treated layer of grade 65G steel under different plasma hardening conditions (PH1_65G and PH2_65G)

The microhardness distribution across the cross-section of the hardened layer of grade 65G steel under the PH2_65G condition (I = 150 A; V_{Ar} = 15 l/h) is determined by the specific features of its structure: microhardness values smoothly vary from 500 $HV_{0.1}$ to 230 $HV_{0.1}$ (Figure 3).

Figure 4 shows the dry friction coefficient and wear rate of the treated layer of grade 65G steel under different plasma hardening conditions (the counter-body is ShKh15 steel). For all studied systems (before and after plasma hardening), the friction coefficient remained within the range of 0.6-0.7. At the same time, the wear rate significantly decreased by 5-6 times (Fig. 4g), indicating increased wear resistance of the treated samples. This effect may be due to the high content of

residual austenite in the structure of the hardened layer (Figure 1) formed as a result of plasma treatment.

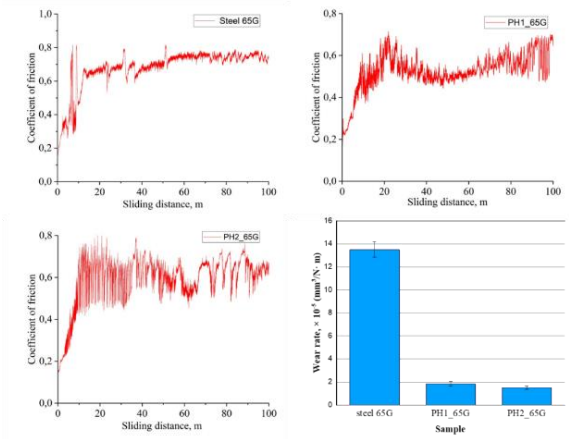


Figure 4 – Dry friction coefficient and wear rate of the treated layer of grade 65G steel under different plasma hardening conditions (ShKh15 steel counter-body)

Conclusions

Thus, based on the results of the conducted research, a range of plasma hardening parameters for grade 65G steel has been established that allows for the production of a hardened layer with increased wear resistance. The technical result of hardening grade 65G steel by plasma hardening is the formation of a modified layer on the surface of the part with a gradient-layered structure and a twofold increase in microhardness and a 5-6 times increase in wear resistance. The change in the structure and mechanical properties of steel during hardening has significant practical significance, as it provides the necessary improvement in the performance characteristics of machine parts and equipment.

References

1 Totten G.E. Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies / G.E. Totten. – Boca Raton: CRC Press, 2006. – 896 p.

2 Issledovanie izmeneniya struktury, pokazateli tverdosti i treshchinostoikosti plazmenno-uprochnennoi stali 65G / I.M. Kosanova i dr. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya. – 2023. – Tom 66, № 5. – C. 516-521. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-5-516-521. (in Russian).

3 Issledovaniya vliyaniya plazmennoi zakalki na protsessy uprochneniya tyazhelonagruzhennykh detalei pochvorezhushchikh mashin / I.M. Kosanova i dr. // Trudy universiteta. – 2023. – № 4(93). – C. 36-42. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2023_4_36. (in Russian).

4 Sharifullin S.N. Features of plasma hardening of working bodies of tillage machinery in Kazakhstan / S.N. Sharifullin, A.T. Bainiyazova, M.M. Abzhaev // Bulletin of the Korkyt Ata Kyzylorda University. – 2023. – № 1(1). – P. 15-21. https://doi.org/10.52081/tst.2023.v01.i1.002.

5 Nanoparticle-strengthened-martensitic Surface Layered Constructed Steel by Plasma Hardening Rout / D. Orynbekov et al // Journal of Nanostructures. – 2021. – Vol. 11, № 4. – P. 814-824. https://doi.org/10.22052/JNS.2021.02.018.

6 Tyurin Yu.N. Electric heating using a liquid electrode / Yu.N. Tyurin, A.D. Pogrebnjak // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Vol. 142-144. – P. 293-299. https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01207-5.

7 GOST 14959-2016. Metalloproduktsiya iz ressorno-pruzhinnoi nelegirovannoi i legirovannoi stali. Tekhnicheskie usloviya. – Moskva: Standartinform, 2017. – 28 s. (in Russian).

8 Gulyarenko A. The Method of Calculating Ploughshares Durability in Agricultural Machines Verified on Plasma-Hardened Parts / A. Gulyarenko, M. Bembenek // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, № 6. – 841. https://doi.org/10.3390/agriculture12060841.

9 ASTM G99-17; Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2016.

10 ISO 13565:1996; Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties. ISO: Geneva, Switzerland, 1996.
11 Koval' A.D. Issledovanie kinetiki obrazovaniya nizhnego beinita v strukture vysokouglerodistoi nizkolegirovannoi stali / A.D. Koval', M.N. Brykov, A.E. Kapustyan, D.N. Timofeenko // Novi materiali i tekhnologiї v metalurgiї ta mashinobuduvanni. – 2011. – (1) – S. 17-21. (in Ukrainian).

Funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992876).

Acknowledgements. *The authors express their gratitude to Ph.D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Standardization, Metrology and Certification of the S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Aleksandr Aleksandrovich Gulyarenko for consultation and assistance in conducting this study.*

Д.Р. Байжан[1,3], Garip Erdogan[2], Т. Әлімбекұлы[1,4*], Н.С. Райсов[1], Е.Е. Біржан[1]
[1]Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университеті,
070002, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ. Шәкәрім даңғ., 148
[2]Сакария университеті, 54050, Түркия, Сакария қ
[3]Шәкәрім университеті, 071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ. Глинки к., 20А
[4]Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, 070000, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ. Серікбаев к., 19
*e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com

65Г БОЛАТЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚАСИЕТТЕРІНЕ ПЛАЗМАЛЫҚ ШЫНЫҚТЫРУ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ӘСЕРІ

Бұл мақалада 65Г болатының құрылымы мен қасиеттеріне плазмалық шынықтыру параметрлерінің әсері зерттелген. Материалды жергілікті жоғары жылдамдықпен қыздыру және кейіннен өздігінен салқындату арқылы плазмалық өңдеудің беткі қабатта беріктендірілген қабат алуға тиімді екендігі көрсетілді. Зерттеулер плазмалық доға тогының 130-150 А және плазма түзуші газ шығынының 0,22-0,25 л/мин аралығындағы мәндерінде жүргізілді, бұл технологиялық параметрлердің қалыптасқан қабаттың сипаттамаларына әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Құрылымдық және фазалық құрамды талдау үшін рентгендік дифракция және сканерлеуші электрондық микроскопия әдістері қолданылды, ал болаттың механикалық және трибологиялық сипаттамалары микроқаттылық өлшегіш пен трибометр көмегімен бағаланды. 65Г болатының бастапқы күйі мен плазмалық беттік өңдеуден кейінгі қасиеттеріне салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Алынған нәтижелер плазмалық шынықтыру нәтижесінде мартенсит пен қалдық аустениттен тұратын, бастапқы құрылымға біртіндеп өтетін градиентті микрокұрылым қалыптасатынын көрсетті. Қатайған қабаттың максималды микрокаттылығы шамамен 670-700 $HV_{0.1}$ мәніне жетеді. Сонымен қатар, өңделген қабаттың тозу жылдамдығы бастапқы күймен салыстырғанда 5-6 есе төмендейтіні анықталды. Зерттеу нәтижелері плазмалық шынықтырудың 65Г болатының беттік қасиеттерін жақсартудың тиімді әдісі екенін және оның қолдану әлеуетінің жоғары екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: *плазмалық шынықтыру, 65Г болаты, микроқұрылым, микроқаттылық, тозуға төзімділік.*

Д.Р. Байжан[1,3], Garip Erdogan[2], Т. Әлімбекұлы[1,4*], Н.С. Райсов[1], Е.Е. Біржан[1]
[1]Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,
070002, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, пр. Шакарима, 148
[2]Университет Сакарья, 54050, Турция, г. Сакарья
[3]Шәкәрім университет, 071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А
[4]Восточно-Казахстанский технический университет имени Даулета Серикбаева, 070000, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
*e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 65Г

В данной статье представлена исследование влияние параметров плазменной закалки на структуру и свойства стали 65Г. Показано эффективность плазменной обработки для получения упрочнённого поверхностного слоя за счёт локализованного высокоскоростного нагрева и

последующего самоохлаждения материала. Исследования проведены в диапазонах тока плазменной дуги 130-150 А и расхода плазмообразующего газа 0,22-0,25 л/мин, что позволило оценить влияние технологических параметров на характеристики сформированного слоя. Для анализа структурного и фазового состава применялись методы рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии, а оценка механических и трибологических характеристик стали проводилась с использованием микротвердомера и трибометра. Выполнено сравнительное исследование свойств стали 65Г в исходном состоянии и после плазменного упрочнение поверхности стали. Полученные результаты свидетельствуют о том, что плазменная закалка способствует формированию градиентной микроструктуры, включающей мартенсит, остаточный аустенит, с постепенным переходом к исходной структуре материала. Максимальное значение микротвёрдости упрочнённого слоя достигает порядка 670-700 $HV_{0.1}$, при этом скорость износа обработанного слоя уменьшилась в 5-6 раз по сравнению с исходным состоянием. Результаты исследования подтверждают перспективность применения плазменной закалки как метода поверхностного упрочнения стали 65Г.

Ключевые слова: *плазменная закалка, сталь 65Г, микроструктура, микротвердость, износостойкость.*

Information about the authors

Daryn Rashituly Baizhan – Senior researcher of scientific research center «Surface engineering and tribology», Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, PhD student, Educational program 8D05302 «Technical physics», Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: daryn.baizhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9105-3129.

Garip Erdogan – Metallurgical and Materials Engineering Department, Materials Under Extreme Conditions Lab., Sakarya University, Turkey; e-mail: gerdogan@sakarya.edu.tr. ORCID: 0000-0002-3924-9984.

Temirlan Alimbekuly* – Junior researcher of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, PhD student, Educational program 8D07102 «Mechanical engineering», D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Republic of Kazakhstan; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Nurmakhanbet Sayatuly Raisov – junior researcher of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan; e-mail: 2002raisov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1698-957X.

Elzhan Erkinuly Birzhan – 4th-year student, Educational Program 6B01509 «Physics and Informatics», Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan; e-mail: ebirzan0@gmail.com. ORCID:https://orcid.org/0009-0005-3363-4856.

Авторлар туралы мәліметтер

Дарын Рашитұлы Байжан – «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының аға ғылыми қызметкері, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Шәкәрім университеті 8D05302 «Техникалық физика» білім беру бағдарламасының докторанты, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: daryn.baizhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9105-3129.

Garip Erdogan – Metallurgical and Materials Engineering Department, Materials Under Extreme Conditions Lab., Sakarya University, Turkey; e-mail: gerdogan@sakarya.edu.tr. ORCID: 0000-0002-3924-9984.

Темірлан Әлімбекұлы* – Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының кіші ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің 8D07102 – «Машина жасау» білім беру бағдарламасы бойынша 2 курс докторанты, Қазақстан Республикасы; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Нұрмаханбет Саятұлы Райсов – «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының кіші ғылыми қызметкері, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: 2002raisov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1698-957X.

Елжан Еркінұлы Біржан – Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университетінің 6B01509 – «Физика-Информатика» білім беру бағдарламасының 4 курс студенті, Қазақстан Республикасы; e-mail: ebirzan0@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3363-4856.

Сведения об авторах

Дарын Рашитулы Байжан – Старший научный сотрудник научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология», Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена

Аманжолова, Республика Казахстан, докторант образовательной программы 8D05302 «Техническая физика», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: daryn.baizhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9105-3129.

Garip Erdogan – Metallurgical and Materials Engineering Department, Materials Under Extreme Conditions Lab., Sakarya University, Turkey; e-mail: gerdogan@sakarya.edu.tr. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3924-9984.

Темірлан Әлімбекұлы* – Младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан, докторант 2 курса образовательной программы 8D07102 – «Машиностроение», Восточно-Казахстанский технический университет имени Даулета Серикбаева, Республика Казахстан; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Нурмаханбет Саятулы Райсов – младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: 2002raisov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1698-957X.

Елжан Еркінулы Біржан – студент 4 курса образовательной программы 6B01509 «Физика-Информатика», Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: ebirzan0@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3363-4856.

Received 01.06.2026
Revised 08.09.2026
Accepted 10.09.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-75

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 29.17.19

А.А. Бектемисов*, М.В. Ермоленко
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: anekin88@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 и Al_2O_3 НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

Аннотация: *Повышение эффективности теплоотвода при одновременном сохранении приемлемых реологических характеристик является одним из основных требований к наножидкостям на основе растительных масел. В настоящей работе проведено сравнительное исследование влияния наночастиц TiO_2 и Al_2O_3 на коэффициент теплопроводности и кинематическую вязкость подсолнечного масла. Рассмотрены массовые концентрации наночастиц 4 и 8 масс.% в диапазоне температур 293-323 K. Установлено, что введение обоих типов наночастиц повышает теплопроводность базовой жидкости, при этом TiO_2 обеспечивает более выраженный эффект. Для 4 масс.% TiO_2 относительное увеличение коэффициента теплопроводности составляет 8,2-8,5 %, тогда как для Al_2O_3 при той же концентрации составляет 6,1-6,4 %. При концентрации 8 масс.% увеличение составляет соответственно 14,0-14,3 и 12,0-12,4 %. Вместе с тем добавление наночастиц сопровождается повышением кинематической вязкости. Наиболее существенное увеличение наблюдается для 8 масс.% Al_2O_3 и составляет 95-97 %, тогда как для 8 масс.% TiO_2 находится в пределах 64-65 %. Полученные результаты показывают, что TiO_2 в исследованных условиях обеспечивает более благоприятное сочетание увеличения теплопроводности и вязкостных характеристик по сравнению с Al_2O_3. Наблюдаемое различие рассмотрено с позиций формирования межфазного слоя, подвижности наночастиц и особенностей их агрегирования в масляной среде.*

Ключевые слова: *подсолнечное масло; нанолубрикант; TiO_2; Al_2O_3; теплопроводность; кинематическая вязкость; наночастицы.*

Введение

Растительные масла представляют значительный интерес в качестве базовой среды для теплоносителей и технологических жидкостей благодаря их природному происхождению и характерным смазывающим свойствам. Одновременно их теплофизические характеристики