UDC 621.793
DOI https://doi.org/10.52171/herald.355

Technology for Obtaining a Wear-Resistant Coating with Nanocomposite Powders on the Valve Gate Surface

N.Y. Ibrahimov, M.A. Rustamov

Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)

For correspondence:
Mahammad Rustamov / e-mail: mahammad.rustamov.a@asoiu.edu.az

Abstract

The article investigates the technology of applying nanocomposite coatings to protect the surfaces of gate valves in the wellhead equipment from the rapid degradation under highly abrasive and corrosive operating conditions. The study examines the role of these coatings in extending the service life of the valve gates. Due to the insufficient durability of metal and epoxy layers produced by traditional gas-thermal spraying and plasma coating methods, the development of more efficient and modern technological solutions in this field is essential. During the research, the power of laser pulses, focusing parameters, energy density, and the mechanisms governing the coating formation process were analyzed using theoretical models, and the optimal operating regimes for various steel grades were identified. Nanostructured ceramic-metal coatings produced by laser technology significantly enhance the resistance of gate valve surfaces to wear and corrosion, extending their operational lifetime by several times. The results demonstrate that the proposed technology makes a substantial contribution to increasing both the technical reliability of the equipment and the economic efficiency of oil and gas industry installations.

Keywords: nano-composite coating, laser cladding, wear-resistant gates, abrasion–corrosion resistance, laser parameters, steel surface protection.

Submitted *29 December 2025*
Accepted *12 September 2026*
Published *25 September 2026*

For citation:
N.Y. Ibrahimov, M.A. Rustamov
[Technology for Obtaining a Wear-Resistant Coating with Nanocomposite Powders on the Valve Gate Surface]
Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2026, vol. 18 (3), pp. 20-26
ISSN (p): 2076-0515, ISSN (e): 2789-8245
© 2026 N.Y. Ibrahimov & M.A. Rustamov. This article is distributed under the terms of the **https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/** ***(CC BY-NC 4.0)***

Siyirtmənin sipərində nanotərkibli ovuntularla yeyilməyədavamlı örtüyün alınma texnologiyası

N.Y. İbrahimov, M.A. Rüstəmov
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)

Xülasə

Məqalə fontan armaturlarında istifadə olunan siyirtmə sipərlərinin səthinin yüksək dərəcədə aşındırıcı və korroziyaedici mühitdə tez sıradan çıxmasının qarşısını almaq üçün tətbiq olunan nanotərkibli kompozit örtüklərin texnologiyasını tədqiq edir. Tədqiqatda bu örtüklərin siyirtmələrin istismar müddətinin artırılmasına təsiri araşdırılır. Qazotermik püskürmə və plazma əsaslı ənənəvi örtük texnologiyaları ilə əldə olunan metal və epoksi qatların möhkəmliyinin kifayət etməməsi səbəbi ilə bu istiqamətdə daha səmərəli və müasir texnoloji həllərin hazırlanması vacibdir. Araşdırma zamanı lazer impulslarının gücü, fokuslaşdırma göstəriciləri, enerji sıxlığı və örtüyün yaranması prosesinə dair mexanizmlər nəzəri modellər vasitəsilə təhlil edilib, həmçinin müxtəlif polad növləri üçün ən əlverişli işləmə rejimləri müəyyənləşdirilmişdir. Lazer texnologiyası ilə formalaşdırılan nanotərkibli keramika-metal örtüklər siyirtmə sipərlərinin aşınma və korroziya təsirlərinə qarşı davamlılığını xeyli yüksəldir və onların xidmət müddətini dəfələrlə artırır. Aparılan tədqiqatın nəticələri sübut edir ki, irəli sürülən texnologiya həm avadanlıqların texniki etibarlılığının artırılmasına, həm də neft-qaz sektorunda istifadə olunan qurğuların iqtisadi effektivliyinin yüksəldilməsinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Açar sözlər: nanokompozit örtük, lazer örtükçəkmə, yeyilməyə davamlı sipərlər, abraziv-korroziya müqaviməti, lazer parametrləri, polad səth qorunması.

Технология получения износостойкого покрытия с использованием нанокомпозиционных порошков на поверхности затвора задвижки

Н.Й. Ибрагимов, М.А. Рустамов
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)

Аннотация

В статье рассматривается технология нанесения нанокомпозитных покрытий, применяемых для предотвращения быстрого износа поверхности задвижек фонтанной арматуры в условиях интенсивного абразивного и коррозионного воздействия. В работе исследуется влияние данных покрытий на увеличение срока службы задвижек. Недостаточная прочность металлических и эпоксидных слоев, полученных традиционными методами газотермического напыления и плазменного покрытия, делает необходимой разработку более эффективных и современных технологических решений в этой области. В ходе исследования были проанализированы мощность лазерных импульсов, параметры фокусировки, плотность энергии и механизмы формирования покрытия на основе теоретических моделей, а также определены оптимальные режимы обработки для различных марок стали. Наноструктурированные керамико-металлические покрытия, сформированные с использованием лазерной технологии, значительно повышают стойкость задвижек к износу и коррозии, многократно увеличивая срок их эксплуатации. Полученные результаты показывают, что предложенная технология существенно способствует повышению технической надежности оборудования и увеличению экономической эффективности устройств, используемых в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: нанокомпозитное покрытие, лазерное наплавление, износостойкие диски, абразивно-коррозионная стойкость, параметры лазера, защита стальных поверхносте.

Giriş

Fontan armaturlarında istifadə olunan siyirtmə sipərlərinin normativ istismar müddətindən öncə sıradan çıxması avadanlığın etibarlılığının azalmasına, texnoloji proseslərin dayanmasına və əlavə iqtisadi itkilərə səbəb olur. Buna görə neft-qaz sənayesində istismar olunan fontan armaturlarının etibarlılığının və uzunömürlülüyünün artırılması mühüm elmi-texniki məsələlərdən biri hesab edilir. Sipərli siyirtmələr quyu məhsulunun axınının tam açılıb-bağlanmasını təmin edən əsas bağlayıcı elementlərdən biri olduğundan, onların istismar etibarlılığı fontan armaturlarının ümumi iş qabiliyyətinə birbaşa təsir göstərir.

Bu səbəbdən siyirtmə sipərlərinin korroziyalı aktiv mühitdən qorunması üçün onların səthinə qoruyucu örtüklərin tətbiqi məqsədəuyğun hesab olunur. Fərqli örtüklərin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla optimal örtük materialının seçilməsi və onun sipər səthinə tətbiq texnologiyasının işlənilməsi bu sahədə əsas tədqiqat istiqamətlərindən biridir.

Siyirtmə sipərlərinin işçi temperaturu təxminən 800–1200 °C arasında dəyişdiyi üçün onların səthinə epoksi örtüklər tətbiq olunur. Lakin epoksi örtüklər cızılmalar və sıyırmalar nəticəsində eroziya və aşınmaya məruz qalır, bu da sipərlərin xidmət müddətini azaldır. Yaxın zamanlarda sipərlərin səthinə keramika əsaslı örtüklərin tətbiqi korroziya və aşınmaya qarşı müqaviməti müəyyən qədər artırır. Müxtəlif temperatur və təzyiq şəraitində işləyən fontan siyirtmələrinin gərginlik nəticəsində deformasiya olması və sürtünmə səbəbindən aşınaraq sıradan çıxması problemi bu sahənin aktuallığını göstərir.

Xüsusilə neft-qaz sahəsində istifadə olunan fontan armaturlarının siyirtmə sipərləri güclü korroziya və abraziv təsirlərə məruz qaldığından, onların səthinə lazer texnologiyası ilə qoruyucu örtüklərin tətbiqi daha məqsədəuyğun hesab edilir [1].

Belə şəraitdə lazer texnologiyası ilə formalaşdırılan nanokompozit örtüklər daha perspektivli texnoloji həll hesab olunur.

ГОСТ 24856-2014-ə əsasən, geniş diapazonda – diametri ϕ 50-dən ϕ 600 mm-ə qədər olan siyirtmə sipərlərinin korroziya və aşınmaya qarşı dayanıqlığının təmin edilməsi tələb olunur.

Mövcud təcrübədə bu problemlərin aradan qaldırılması məqsədilə korroziyaya davamlı ərintilərdən istifadə edilməklə qazotermik püskürmə və plazma örtük texnologiyaları tətbiq olunur [9]. Lakin bu üsullar yüksək abraziv və korroziya şəraitində tələb olunan aşınma və korroziyaya davamlılığı tam təmin etmədiyindən, daha səmərəli örtük texnologiyalarının işlənib hazırlanmasına ehtiyac yaranır.

İşin məqsədi

Çox vaxt müstəvi sipərlər yüksək abraziya və korroziya təsiri nəticəsində tez sıradan çıxır. Onların qorunması məqsədilə korroziyaya davamlı ərintilərdən istifadə edilərək qazotermik püskürmə və plazma üsulları ilə metal örtüklər sipər səthlərinə tətbiq olunsa da, hidroabraziv yeyilmə və intensiv korroziya səbəbindən bu sipərlər qısa müddət ərzində funksiyasını itirir [1, 2]. Bu tədqiqatın məqsədi fontan armaturlarında istifadə olunan siyirtmə sipərlərinin səthinə lazer texnologiyası ilə nanotərkibli kompozit örtüklərin çəkilməsi üçün optimal texnoloji rejimlərin nəzəri əsaslandırılmasıdır. Bu məqsədlə müxtəlif tərkibli kompozit ovuntuların istilik-fiziki xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla lazer impulsunun enerjisinin, fokuslama parametrlərinin, enerji sıxlığının və emal müddətinin hesablanması, həmçinin müxtəlif polad markaları üçün optimal texnoloji rejimlərin müəyyənləşdirilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

Məsələnin qoyuluşu

Lazer texnologiyası ilə siyirtmə sipərinin səthində keyfiyyətli kompozit örtüyün formalaşdırılması üçün lazer emalının əsas texnoloji parametrlərinin nəzəri hesablanması tələb olunur. Bu məqsədlə lazer impulsunun enerjisi, fokuslanma parametrləri, güc sıxlığı və impulsun davametmə müddəti müəyyən edilir. Hesablamalar müxtəlif tərkibli kompozit ovuntular və polad markaları üçün aparılır.

Məsələnin həlli

Bərk maddəli lazerlərin əsas üstünlüklərindən biri impulsun çox qısa, yalnız bir neçə mikrosaniyə davam etməsidir. Nəticədə, aşağı orta gücdə işlədikdə belə yüksək pik güc formalaşır.

Bu xüsusiyyət kompozit örtüklərin detalların səthinə tətbiqi üçün optimal texnoloji rejimlərin seçilməsinə şərait yaradır. Tədqiqat çərçivəsində lazer impulsunun enerjisi, güc sıxlığı, fokuslanma parametrləri və impuls müddəti nəzəri hesablamalar vasitəsilə müəyyən edilmişdir [3,4].

Bərk maddəli impuls lazerində bir impuls zamanı ötürülən enerji lazerin gücü ilə impulsun davametmə müddətinin hasilinə bərabərdir və aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$E_L = P_L \cdot t_L \qquad (1)$$

Burada: E_L – lazerin enerjisi (Ws), P_L – lazerin çıxış gücü, Vatt, t_L – lazer impulsunun davametmə müddəti (s).

Lazer şüasının fokus nöqtəsinin ölçüsü yalnız fokuslayıcı linzanın həndəsi xüsusiyyətləri ilə deyil, həm də şüanın başlanğıc diametri və istifadə olunan şüalanmanın dalğa uzunluğu ilə müəyyən edilir. Fokuslanmış nöqtənin diametri kiçildikcə eyni enerji daha kiçik sahəyə cəmləşir ki, bu da səthdə yaranan güc sıxlığının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur.

Lazerin güc sıxlığı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$J = \frac{PL}{F} \quad \text{və ya} \quad J = \frac{EL}{tL \cdot F} \qquad (2)$$

Burada J – lazer şüasının güc sıxlığı, Vatt/sm^2, F – fokuslanmış şüa ləkəsinin sahəsidir, sm^2. Fokuslanmış ləkənin dairəvi formaya malik olduğu qəbul edilərsə, onun sahəsi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$F = \frac{\pi d^2 \, min}{4}$$

Burada d_{min} – fokus nöqtəsində əmələ gələn minimal şüa diametridir.

Toplayıcı linzanın tətbiqi nəticəsində lazer şüası fokus nöqtəsində yüksək enerji sıxlığı yaradır. Fokuslanmış nöqtənin minimal diametri difraksiya həddi ilə məhdudlaşır və optik sistemin fokus məsafəsi, şüanın diametri, eləcə də lazer şüalanmasının dalğa uzunluğu ilə müəyyən olunur. Bu parametr aşağıdakı ifadə ilə hesablanır [5]:

$$d_{min} = 2{,}44 \cdot \lambda \frac{f}{ds} \qquad (3)$$

Burada: λ – lazer şüasının dalğa uzunluğu, f – fokuslayıcı linzanın fokus məsafəsi, d_s – linzaya düşən lazer şüasının diametridir.

Texnoloji prosesdə lazerin impulsunun davam etmə müddəti aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$t_L = \frac{S^2}{4a} \qquad (4)$$

Burada S – lazer şüası ilə sipərin səthində təbəqənin alınması və səthin ərimə qalınlığıdır.

$$S = h_0 + S_0 \qquad (5)$$

burada, h_0 – sipərin səthinin ərimə dərinliyidir, sm, S_0 – alınan üstəritmə qatının qalınlığıdır (hündürlük), sm.

$$a = \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda i}{c_i \rho_i} = \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1} + \frac{\lambda_2}{c_2 \rho_2} + \cdots + \frac{\lambda i}{c_i \rho_i} \qquad (6)$$

Burada, λ_i – elementlərin xüsusi istilik keçirmə əmsalları, c_i – elementlərin istilik tutumları, ρ_i – hər bir elementin sıxlığıdır.

Bu kəmiyyətlər aşağıdakı ifadələrlə hesablanılır:

$$\lambda_i = \sum \lambda i \rho_i = \lambda_1 P + \lambda_2 P_2 + \cdots + \lambda_i P_i$$
$$c_i = \sum c_i P_i = c_1 P_1 + c_i P_2 + \cdots + c_i P_i$$
$$\rho_i = \sum \rho_i P_i + \rho_2 P_2 + \rho_2 P_2 + \ldots + \rho_i P_i \quad (7)$$

Burada P_1, P_2, $P_{3\ldots}$ – kompozitdə hər bir komponentin payını (miqdarını) ifadə edir.

İstilikkeçirmə əmsalı komponentlərin həcm payları nəzərə alınmaqla da hesablana bilər:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{V_1}{\lambda_1} + \frac{V_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{V_i}{\lambda_i} = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{\lambda_i} \quad (8)$$

Qeyd olunan hesablamaların ardıcıl yerinə yetirilməsi nəticəsində müxtəlif tərkibli ovuntular üçün uyğun lazer emalı rejimi müəyyən edilir və yüksək keyfiyyətli örtük təbəqəsi əldə olunur.

Fontan armaturlarının istehsalında keyfiyyətin iş şəraitinə tam uyğun təmin edilməsi vacibdir. Lazer qurğusunda emal edilən siyirtmə sipərləri daha yüksək dəqiqlik kvalitetinə malik olur və bu göstərici digər istehsal üsulları ilə hazırlanan sipərlərin dəqiqliyini üstələyir.

Kompozit ovuntusunun tərkibi və fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri haqqında məlumatlar əsasında texnoloji rejimin nəzəri hesablamaları yerinə yetirilmişdir.

Tədqiqatda istifadə olunan ovuntuların tərkibi və onların əsas xarakteristikaları cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1 – Ovuntunun tərkibinin istilik xassələri [1, 6, 7, 8]
Table 1 – Thermal properties of the powder composition [1, 6, 7, 8]

Parametrlər \ Elementlər	Kvars şüşə ovuntu	Fe	Cu	Al ovuntusu	Zn ovuntusu	Sement ovuntusu
Sıxlıq ρ q/sm^3	2.2	7.5	7	2.5	5.6	2
İstilik tutumu (C) coul/m·K	745	450	420	850	490	896
İstilik keçirmə əmsalı (λ) Vt/m·K	2	25	25	100	27	0.7

Tədqiqatda istifadə olunan lazer qurğusu sabit impuls enerjisi və tənzimlənən fokus məsafəsi ilə seçilir ki, bu da materialın səthində idarəolunan termal təsir yaratmağa imkan verir.

Kompozit ovuntuların tərkibi nəzərə alınaraq, yarımkeçiricili bərk maddəli lazer qurğusunda siyirtmə sipərinin səthinə müxtəlif qalınlıqlı örtüklərin formalaşdırılması üçün texnoloji rejim müəyyən edilmişdir. Rejimin seçilməsi lazer qurğusunun əsas texniki parametrlərinə əsaslanmışdır [1,2].

Tədqiqat zamanı lazerin çıxış gücü - E = 1000Vt, şüa diametri - d = 3,0 mm, fokus məsafəsi f = 200 mm, şüalanmanın dalğa uzunluğu - λ = 900-1050 qəbul edilmişdir.

Göstərilən parametrlər əsasında müxtəlif marka poladların lazer emalı üçün texnoloji rejimlər hesablanmış və müvafiq düsturlardan istifadə edilməklə müəyyən edilmişdir. Aparılan hesablamaların nəticələri cədvəl 2, 3, 4 və 5-də təqdim olunmuşdur.

Tədqiqat çərçivəsində üç müxtəlif tərkibli ovuntu – nanoqarışıq kompozisiyası hazırlanmış və onların optimal örtük formalaşdırma qabiliyyəti araşdırılmışdır. Kompozisiyaların seçilmə prinsipi mexaniki möhkəmliyin, istilik dayanıqlığının və lazer təsiri altında ərimə-bərkimə kinetikasının balanslaşdırılmasına əsaslanmışdır. Hazırlanmış qarışıqların tərkibi aşağıdakı kimidir:

Fe–SiO_2–Cu–Zn (55/25/10/10 küt.%)
Fe–Al–Cu–Sement (45/25/15/15 küt.%)
Fe–Al–SiO_2–Cu (50/20/15/15 küt. %)

Cədvəl 2 – Polad 45 materialından hazırlanmış siyirtmənin üzərinə çəkiləcək kompozit material
Table 2 – Composite material to be applied on the surface of the slider made of Steel 45

Material	S, mm	a, (sm²/s)	t, san	J, (W/cm²)
Fe–SiO_2–Cu–Zn	0,3	6.23×10^{-3}	0.144	3.33×10^{7}
Fe–Al–Cu–Sement	0,3	1.22×10^{-2}	0.0738	6.48×10^{7}
Fe–Al–SiO_2–Cu	0,3	1.14×10^{-2}	0.079	6.07×10^{7}

Cədvəl 3 – Polad 45X materialından hazırlanmış siyirtmənin üzərinə çəkiləcək kompozit material
Table 3 – Composite material to be applied on the surface of the slider made of Steel 45X

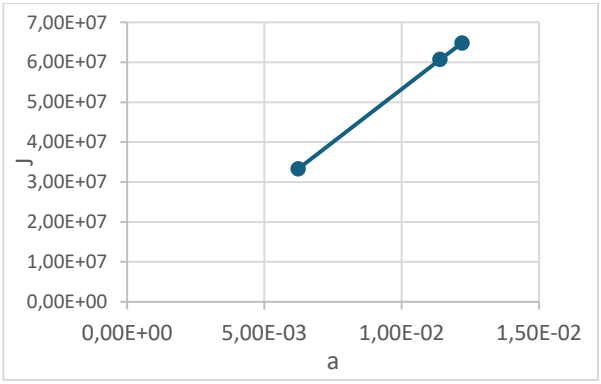
Material	S, mm	a, (sm²/s)	t, san	J, (W/cm²)
Fe–SiO_2–Cu–Zn	0,55	6.23×10^{-3}	0.486	9.85×10^{6}
Fe–Al–Cu–Sement	0,55	1.22×10^{-2}	0.248	1.93×10^{7}
Fe–Al–SiO_2–Cu	0,55	1.14×10^{-2}	0.265	1.80×10^{7}

Cədvəl 4 – Polad 38XM materialından hazırlanmış siyirtmənin üzərinə çəkiləcək kompozit material
Table 4 – Composite material to be applied on the surface of the slider made of Steel 38XM

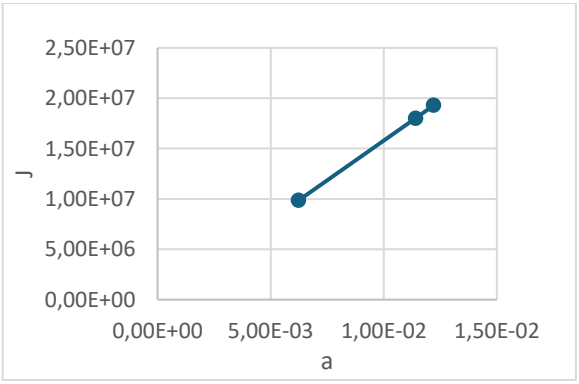
Material	S, mm	a, (sm²/s)	t, san	J, (W/cm²)
Fe–SiO_2–Cu–Zn	0,8	6.23×10^{-3}	1.03	4.64×10^{6}
Fe–Al–Cu–Sement	0,8	1.22×10^{-2}	0.525	9.12×10^{6}
Fe–Al–SiO_2–Cu	0,8	1.14×10^{-2}	0.561	8.52×10^{6}

Cədvəl 5 – Polad 20X materialından hazırlanmış siyirtmənin üzərinə çəkiləcək kompozit material
Table 5 – Composite material to be applied on the surface of the slider made of Steel 20X

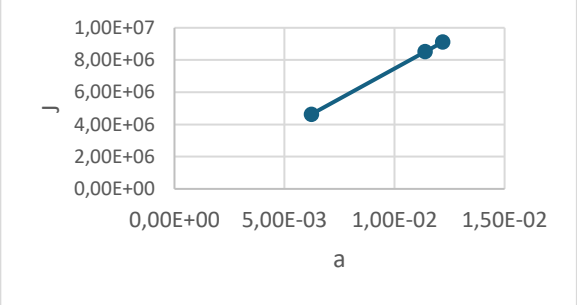
Material	S, mm	a, (sm²/s)	t, san	J, (W/cm²)
Fe–SiO_2–Cu–Zn	0,11	6.23×10^{-3}	0.0194	2.46×10^{8}
Fe–Al–Cu–Sement	0,11	1.22×10^{-2}	0.0099	4.83×10^{8}
Fe–Al–SiO_2–Cu	0,11	1.14×10^{-2}	0.0106	4.50×10^{8}



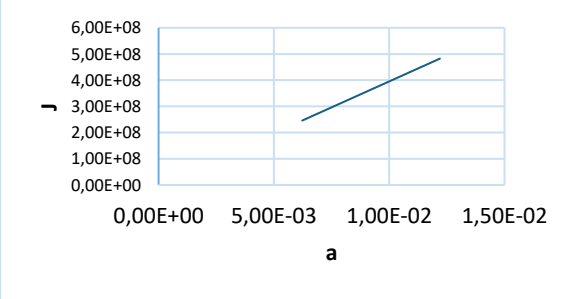
Şəkil 1 – Polad 45 örtüklərinin güc sıxlığının diffuziya əmsalından asılılığı
Figure 1 – Dependence of the Power Density of Steel 45 Coatings on the Diffusion Coefficient



Şəkil 2 – Polad 45X örtüklərinin güc sıxlığının diffuziya əmsalından asılılığı
Figure 2 – Dependence of the Power Density of Steel 45X Coatings on the Diffusion Coefficient



Şəkil 3 – Polad 38XM örtüklərinin güc sıxlığının diffuziya əmsalından asılılığı
Figure 3 – Dependence of the Power Density of Steel 38XM Coatings on the Diffusion Coefficient



Şəkil 4 – Polad 20X örtüklərinin güc sıxlığının diffuziya əmsalından asılılığı
Figure 4 – Dependence of the Power Density of Steel 20X Coatings on the Diffusion Coefficient

Nəticə

Aparılan nəzəri və texnoloji tədqiqatlar göstərir ki, fontan armaturlarının siyirtmə sipərlərinə lazer üsulu ilə nanotərkibli kompozit örtük çəkmək onların korroziya və abraziv yeyilməyə davamlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Müxtəlif polad markaları üçün hesablanmış optimal lazer parametrləri nəticəsində alınan örtüklər sipərlərin istismar müddətini 2–3 dəfə uzadır və avadanlığın etibarlılığını yüksəldir. Bu texnologiya ənənəvi qazotermik və plazma üsullarını üstələyərək həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan daha səmərəli nəticə verir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **İbrahimov N.Y.** Siyirtmə sipərinin səthinə lazer texnologiyası ilə metal örtüyün çəkilməsi üsulu. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2021, №3, s 13 s. 89-93.
2. **Bukhalenko E.I.** Neftepromyslovoye oborudovaniye. M.: Nedra, 1990. – 558 s.
3. **Sadıxov Ə.N, Məmmədov N.P.** Lazerlə emal texnologiyası. AZTU. Bakı: Elm, 2012. – 225 s.
4. **Arkhipov V.E., Birger E.M.** Primenenie lazernoy tekhnologii pri remonte oborudovaniya. 1990. – 63 s.
5. **Golovko L.F.** Formirovanie iznosostoykikh materialov v usloviyakh lazernoy ustanovki // Svarochnoye proizvodstvo. – Kiev, 2001, №7, c. 20-24.
6. **K.B. Deshmukh, S.V. Karmare.** A review on convective heat augmentation techniques in solar thermal collector using nanofluid. Journal of Thermal Engineering, 2021, №5, c 7.
7. **Jihoon Jeong, Yaguo Wang .** Thermal properties of copper nanoparticles at different sintering stages governed by nanoscale heat transfer. Additive Manufacturing Letters, 2023, c 4.
8. **Sarah Simpson, Austin Schelfhout, Chris Golden, Saeid Vafaei.** Nanofluid Thermal Conductivity and Effective Parameters. Applied science.
9. **İbrahimov N.Y., Məmmədəliyev R.M., Bayramov X.B.** Lazer qurğusunda siyirtmə sipərinin səthinə metal ovuntu örtüyünün çəkilmə texnologiyası // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2020. Cild 12, №1, s. 38-42