

УДК 621.413.3.436

DOI: 10.31498/2225-6733.50.2025.336421

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОПОЛУМ'ЯНЕВИМ НАПИЛЕННЯМ

Агєєв М.С.

д-р техн. наук, професор, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5691-8986>, e-mail: maxageev73-73@ukr.net

При відновленні зношених поверхонь деталей суднових технічних засобів газополум'яним напиленням (ГПН) на якість відновлювального покриття впливають різні технологічні фактори, такі як дистанція напилення, кут розпилення, склад газової суміші та конструкторські особливості – товщина покриття, пористість, від яких в подальшому залежить якість покриття, ресурс відновлених деталей та надійність всього механізму [1]. Дослідження працездатності системи «покриття – основа» показали, що основною причиною їх руйнування є недостатній зв'язок між матеріалом покриття та відновлюваною поверхнею. Іншими словами, однією з найважливіших експлуатаційних характеристик деталей з ГПН-покриттями є міцність зчеплення покриття з відновлюваною поверхнею – критерій, який використовують у практиці відновлювання деталей в процесі ремонту. Адгезійні характеристики покриття визначають його працездатність. Тому у роботі експериментально встановлено вплив технологічних параметрів ГПН на працездатність відновлених поверхонь та їх функціональний зв'язок. Мета статті полягає у встановленні впливу технологічних параметрів процесу ГПН на якість відновлювального покриття, що визначає працездатність та надійність суднових технічних засобів в цілому. У результаті проведення дослідження з'ясований механізм впливу технологічних параметрів (дистанції напилення, матеріалу, склад газової суміші тощо) та конструкторських особливостей (товщини покриття, пористості) процесу ГПН на якість отриманого покриття. Урахування впливу технологічних параметрів процесу ГПН та їх функціонального зв'язку на якість отриманого покриття дає можливість керувати процесом напилення та отримувати покриття з заздалегідь встановленими властивостями. Встановлено залежність загальної пористості та адгезійної міцності ГПН-покриттів від дистанції напилення, впливу товщини покриттів на співвідношення наскрізної та загальної пористості покриттів.

Ключові слова: ГПН-покриття, технологічні параметри, суднові технічні засоби, працездатність, надійність, адгезійна міцність.

Постановка проблеми

Безперервне збільшення кількості суден, їх розмірів та швидкості веде до зростання інтенсивності руху та вимагає підвищення безпеки плавання, що значною мірою залежить від надійності всіх суднових технічних систем і засобів.

Недостатній рівень надійності – це додаткові витрати, спричинені аваріями та простоями суден, зниженням їх швидкості та збільшенням часу вантажних операцій, а також додаткові витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання.

Одним із завдань сучасної інженерії поверхні є забезпечення параметрів міцності та довговічності поверхневих шарів деталей суднових технічних засобів, а у випадку втрати ними геометричних характеристик в результаті зношування, відновлення їх профілю з одночасним забезпеченням новосформованих областей поверхні необхідним комплексом експлуатаційних властивостей [2].

З розвитком технологій нанесення покриттів методами газотермічного напилення (ГТН) та через складність фізико-хімічних процесів, що відбуваються при ГТН для забезпечення експлуатаційних властивостей відновлюваної поверхні, потрібно встановити функціональний зв'язок між технологічними факторами, що впливають на формування покриття.

Дане дослідження зосереджено на визначенні функціональних взаємозв'язків процесів ГПН та їх

впливу на якість відновлюваної поверхні деталі та надійність суднових технічних засобів.

На умови формування ГПН-покриттів мають неадитивний вплив конструктивні особливості устаткування ГПН, параметри процесу напилення, характеристики матеріалу покриття [3]. Технологічні параметри процесу ГПН повинні забезпечувати задані властивості відновлюваних поверхонь деталей та надійність суднових технічних засобів.

Підвищення функціональних властивостей і терміну служби відновлених поверхонь деталей суднових технічних засобів вимагає рішення наукової задачі управління фізико-механічними процесами в поверхневих напилених шарах покриттів.

Дослідження взаємозв'язків між параметрами процесу ГПН та ступеня їх впливу на пористість, щільність, міцність зчеплення дозволять забезпечити необхідну мікротвердість та зносостійкість покриттів, а встановлені загальні закономірності між параметрами процесу відновлення робочих поверхонь деталей засобів транспорту дозволяють керувати режимами процесу відновлення [4].

Тому дослідження функціональних взаємозв'язків процесу ГПН та їх впливу на механічні властивості системи «відновлена поверхня – покриття» є одним з найбільш важливих етапів при відновленні деталей суднових технічних засобів, який дозволяє об'єктивно оцінювати їх механічну поведінку при експлуатації,

управляти їх міцністю шляхом дії на склад, структуру, властивості і технологію отримання покриттів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанню забезпечення надійності деталей суднових технічних засобів шляхом керування технологічними параметрами процесу присвячені роботи [5, 6]. Автори публікацій [7, 8] зазначають, що при напиленні зовнішніх поверхонь тіл обертання не акцентується увага на вплив частоти обертання деталі на кут напилення порошків, а його невизначеність негативно впливає на адгезійні характеристики системи «покриття – основа».

У публікаціях [9, 10] автори зосереджують увагу на пористості покриттів та експериментально доводять її залежність від дистанції напилення та складу газової суміші. Дані робіт [11] доводять, що пористість покриттів 6-12% може забезпечувати достатню міцність, а збільшення її до 14 -20% може визвати зниження мікротвердості, зносостійкості та міцності зчеплення з основою. До речі спосіб ГПН не забезпечує високої міцності зчеплення [12], так як окремі частинки можуть бути не проплавлені або нагріті тільки до передплавильних температур, тому для підвищення адгезійних характеристик використовують додаткову підготовку поверхні деталі та термічну обробку після напилення.

Враховуючи вище викладене, авторами в роботі проведено експериментальні дослідження функціональних взаємозв'язків фізико-механічних процесів ГПН для визначення раціональних діапазонів процесу відновлення.

Мета статті

Визначення впливу функціональних взаємозв'язків фізико-механічних процесів ГПН з метою забезпечення надійності суднових технічних засобів в процесі ремонту.

Виклад основного матеріалу

Напилене покриття формується шляхом послідовного укладання великої кількості нагрітих до температури плавлення частинок, що супроводжується їхньою деформацією. Основними структурними елементами напиленого матеріалу є зерно, частка, шар (рис. 1).

На відміну від компактного матеріалу, що має два типи кордонів: між зернами та між фазами, напилене покриття має ще три типи кордонів (рис. 1), що надають істотний, а найчастіше визначальний вплив на властивості покриття. Це межі між деформованими частинками, міжшарові межі та межі, що розділяють покриття та підкладку [13].

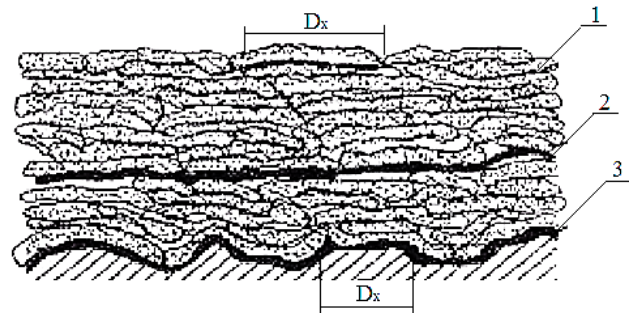


Рис. 1 – Схема структури покриттів: 1 – межа між покриттям та основою; 2 – міжшарова межа; 3 – межа між частинками; Dx – діаметр ділянки плями контакту, на якому відбувається «приварювання» частки

Як вже зазначалося, порошкові матеріали, що використовуються для ГПН, можна розділити на два класи: неоплавлювані та оплавлювані (такі, що самофлюсуються).

Виходячи з аналізу умов роботи швидкозношуваних поверхонь деталей суднових технічних засобів для їх відновлення і зміцнення необхідне використання порошків як сплавів, що самофлюсуються, так і тих, що застосовуються для «холодного напилення».

Для відновлення деталей типу «вал», що працюють при знакозмінних і ударних навантаженнях, абразивному зношуванні і при впливі високих температур, застосовують порошки, що самофлюсуються, ПГ-19М-01, ПГ-12Н-02, з подальшим опалвленням. Для відновлення та зміцнення посадкових місць деталей суднових технічних засобів, що не піддаються в процесі експлуатації ударним та знакозмінним навантаженням, застосовують порошкові матеріали без подальшого опалвлення ПГ-19М-01, ПГ-19Н-01 ПН85Ю15. Хімічний склад металевих порошкових матеріалів наведений в табл. 1 [14].

Таблиця 1

Хімічний склад металевих порошкових матеріалів

Марка порошку	Вміст хімічних елементів, %							
	Cu	Fe	Al	Ni	B	C	Si	Cr
ПГ-19М-01	основа	4,0	8,5 - 10,5	-	-	-	-	-
ПГ-12Н-02	-	3,0 - 5,0	-	основа	2,0 - 4,0	0,4 - 0,8	3,0 - 5,0	10 - 16
ПН85Ю15	-	-	13,5	основа	-	-	-	-

Вибір зазначених марок металевих порошків обумовлений тим, що вони є найбільш поширеними і характерними представниками матеріалів кожного класу, а саме: матеріалів, що самофлюсуються, інтерметалідів, сплавів на мідній основі. Крім того, ці порошки мають не однакові значення плинності через різну форму частинок. Механічні характеристики та властивості порошкових матеріалів наведені в табл. 2 [14]. При послідовному укладанні шарів неминуче утворюються порожнечі (особливо на стиках частинок). Ці порожнечі, чи пори, надають вирішального впливу на фізико-механічні властивості покриттів, і оцінка їх кількості необхідна під час виборів раціональних режимів нанесення захисних покриттів у кожному конкретному випадку.

Крім пористості, найважливішою характеристикою покриттів є величина їх міцності зчеплення з основним металом, яка буває часто основним критерієм при оцінці застосовності методів напilenня та матеріалів для відновлення-зміцнення ряду деталей, що працюють при складних навантаженнях. Пористість і адгезія залежать від технологічних параметрів

напilenня, витрати і тиску робочих газів, складу газової суміші, кількості порошкового матеріалу, що подається в одиницю часу в зону горіння, дистанції напilenня, швидкості обертання деталі.

Основний вплив на пористість покриттів надає дистанція напilenня, грануляція і матеріал порошку, що напильється. На рис. 2 представлена залежність загальної пористості покриттів, напильених порошками ПН85Ю15, ПГ-19М-01, ПГ-12Н-02 з розміром частинок 50...63 мкм.

Максимальна щільність покриттів досягається на дистанції, що відповідає максимальній температурі частинок та швидкості їх польоту.

Більш висока пористість покриттів з порошку ПН85Ю15 обумовлена вищою температурою плавлення в порівнянні з бронзою і сплавами, що самофлюсуються.

Зі збільшенням товщини покриття загальна пористість практично не змінюється, а спостерігається нелінійне зменшення відкритої пористості (рис. 3), що підтверджується дослідженнями проникності покриттів (рис. 4).

Таблиця 2

Механічні характеристики та властивості обраних порошкових матеріалів

Марка порошку	Грануляція, мкм	Твердість, HRC	Властивості напильених покриттів
ПГ-19М-01	40 - 80	65 - 72	Бронза БРАЖ9-4. Антифрикційне, корозійно-стійке покриття
ПГ-12Н-02	20 - 40	45 - 50	Оплавлений шар має високу зносостійкість і стійкість проти корозії. Стійке до термічних ударів.
ПН85Ю15	30 - 60	30 - 35	Жаростійке, зносостійке, антифрикційне покриття, стійке до термоциклювання, луку

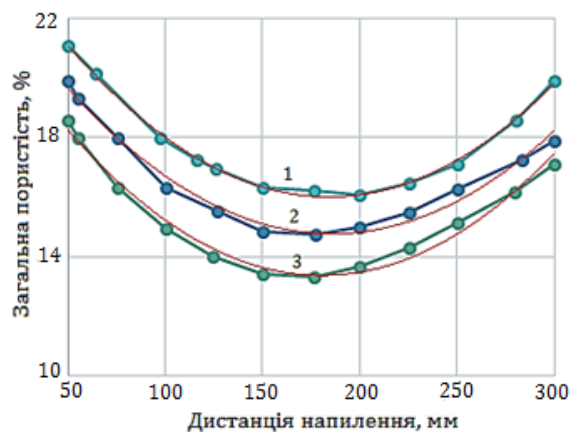


Рис. 2 – Вплив дистанції напilenня на загальну пористість покриттів, напильених порошками:

1 – ПН85Ю15; 2 – ПГ-12Н-02; 3 – ПГ-19М-01
($\delta = 0,7 \dots 1,0$ мм, $d_0 = 50 \dots 63$ мкм)

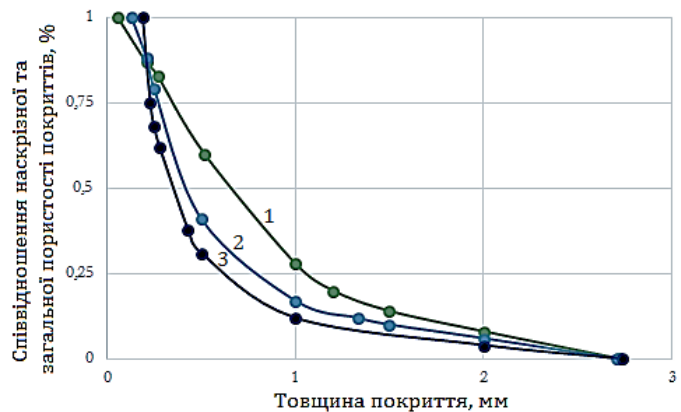


Рис. 3 – Вплив товщини покриттів на співвідношення наскрізної та загальної пористості покриттів, напильених з дистанції

$L = 180$ мм: 1 – ПН85Ю15; 2 – ПГ-12Н-02; 3 – ПГ-19М-01
($\delta = 0,7 \dots 1,0$ мм, $d_0 = 50 \dots 63$ мкм)

Порівняння виду перехідної зони біля покриттів системи Ni-Al, Ni-Cr-B-Si та бронзи також свідчить про більш високу міцність зчеплення у алюмінідів нікелю. Невеликі області, в яких відсутня лінія розподілу покриття та основи, свідчить про перебіг дифузійних процесів, відсутність великої кількості вторинних оксидів на поверхні підкладки.

Результати визначення складу порошку до та після наплення показали, що втрати алюмінію становлять 10-15 мас.% від вихідного. Більшість його (4-7%) у вигляді Al_2O_3 у складі покриття, деяка частина (до 5%) утворює високодисперсні оксиди, мають мікротвердість 9×10^3 МПа.

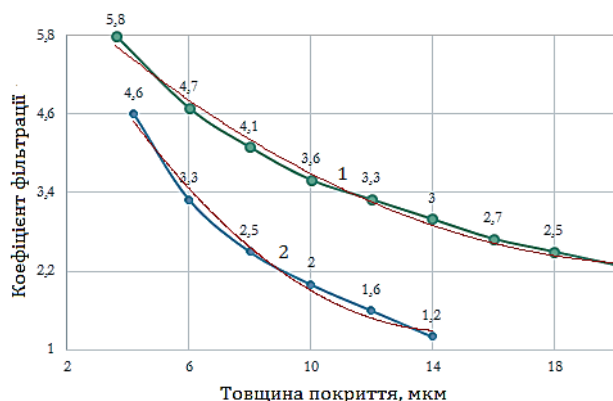


Рис. 4 – Залежність коефіцієнта фільтрації від товщини покриттів, напильних порошками: 1 – ПН85Ю15; 2 – ПГ-19М-01

Покриття мають максимальні значення міцності зчеплення при дистанції наплення, що забезпечує максимальну щільність (рис. 5). Слід зазначити той факт, що покриття з екзотермічно реагуючого порошку за наявності більшої, ніж у покриттів з інших матеріалів, пористості має більш високу міцність зчеплення з основою.

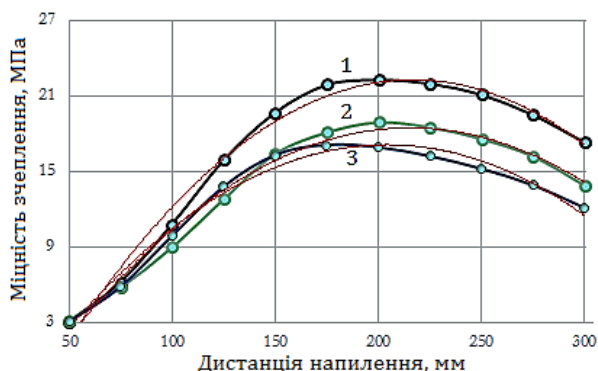


Рис. 5 – Залежність міцності зчеплення з основою від дистанції наплення: 1-ПН85Ю15; 2 – ПГ-19М-01; 3 – ПГ-12Н-02 ($\delta = 0,7 \dots 1,0$ мм; $d_0 = 50 \dots 63$ мкм)

Триботехнічні випробування, проведені в умовах обмеженої подачі мастила, показали, що після закінчення процесу приробітку збільшення питомого навантаження від 0,5 до 8 МПа призводить до зниження коефіцієнта тертя для всіх покриттів, що випробовуються (рис. 6).

У межах значень $P = 7-15$ МПа настає процес нормального механохімічного зношування, коли збільшення тиску не призводить до суттєвої зміни коефіцієнта тертя. У цьому дещо зменшується підвищення температури (крива 3, рис. 6).

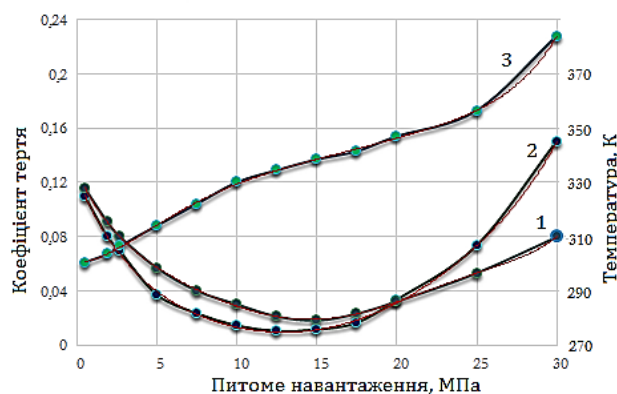


Рис. 6 – Вплив питомого навантаження на коефіцієнт тертя (1,2) та температуру (3) покриттів, напильних порошками: 1 – ПН85Ю15; 2 – ПГ-19М-01; 3 – ПГ-12Н-02 ($V = 1,05$ м/с; $P \sim 20\%$)

Зі збільшенням значень питомого навантаження понад 16 МПа коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування (рис. 7) різко зростають.

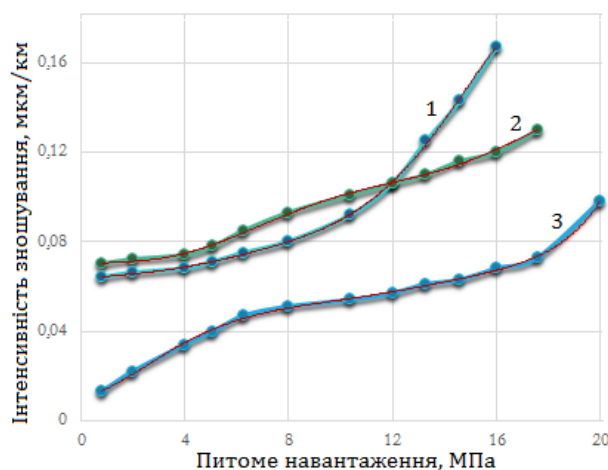


Рис. 7 – Залежність інтенсивності зношування від питомого навантаження при терті покриттів, напильних порошками: 1 – ПН85Ю15; 2 – ПГ-19М-01; 3 – ПГ-12Н-02

На підставі цих даних і результатів дослідження залежності граничного тиску до скоплювання від швидкості ковзання (рис. 8) можна рекомендувати використання порошкових матеріалів для відновлення деталей вузлів тертя ковзання.

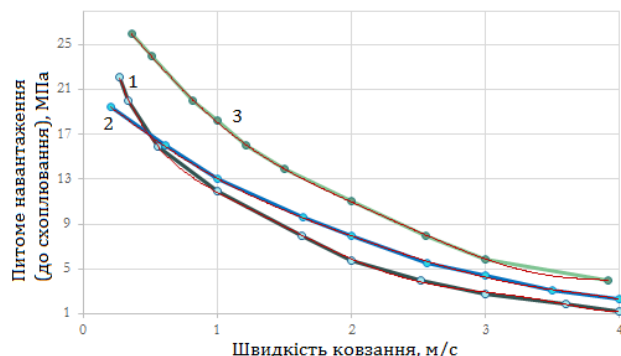


Рис. 8 – Вплив швидкості ковзання на величину граничного питомого навантаження (до скоплювання):
1 – ПН85Ю15; 2 – ПГ19М-01; 3 – ПГ12Н-02

Висновки

Дослідження впливу дистанції напilenня на пористість та міцність зчеплення покриттів з основою показало, що оптимальною дистанцією напilenня є відстань 150-180 мм, а висока пористість покриттів з порошку ПН85Ю15 обумовлена вищою температурою плавлення в порівнянні з бронзою і сплавами, що самофлюсуються. Зі збільшенням товщини покриття загальна пористість практично не змінюється, а спостерігається нелінійне зменшення відкритої пористості. Порівняння виду перехідної зони біля покриттів системи Ni-Al, Ni-Cr-B-Si та бронзи також свідчить про більш високу міцність зчеплення у алюмінідів нікелю.

Триботехнічні випробування, проведені в умовах обмеженої подачі мастила, показали, що після закінчення процесу приборітку збільшення питомого навантаження від 0,5 до 8 МПа призводить до зниження коефіцієнта тертя для всіх покриттів. У межах значень $P = 7-15$ МПа настає процес нормального механо-хімічного зношування, коли збільшення тиску не призводить до суттєвої зміни коефіцієнта тертя.

Перелік використаних джерел

- [1] Ahieiev M.S, Ustintcev S.M. Prerequisites the formation of a logistics system for the repair of parts of the «shaft» type of ship technical facilities. *Features of innovative development in the field of technology: the comparative experience of Ukraine and the European Union*: Proceedings of the International scientific conference, Wloclawek, the Republic of Poland, 6-7 September 2023. Pp. 68-71. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-340-8-16>.
- [2] Crawmer D.E. Coating structures, properties, and materials. *Handbook of thermal spray technology* / ed. by R.C. Tucker, Jr. 2013. Pp. 60-64. DOI: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v05a.a0005755>.
- [3] Агєєв М.С., Манжелей В.С., Дзигар А.К. Нанесення захисних покриттів для підвищення зносостійкості та ресурсу при ремонті валів суднових СДВЗ. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування*: матеріали 11-ї Міжн. наук.-практ. конф., м. Херсон, 08-10 вересня 2020 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2020. С. 236-239.
- [4] Агєєв М.С., Устінцев С.М. Управління технологією відновлення поверхонь деталей засобів транспорту в процесі ремонту. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування*: матеріали 13-ї Міжн. наук.-практ. конф., м. Херсон, 07-09 вересня 2022 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2022. С. 169-173.
- [5] Improving the Operational Output of Marine Vessel Main Engine System through Cost Reduction using Reliability Technique / U.U. Kelechi et al. *International Journal of Engineering and Modern Technology*. 2022. Vol. 8, no. 2. Pp. 36-52. DOI: <https://doi.org/10.56201/ijemt.v8.no2.2022.pg36.52>.
- [6] Influence of coating thickness on residual stress and adhesion-strength of cold-sprayed Inconel 718 coatings / R. Singh et al. *Surface and Coatings Technology*. 2018. Vol. 350. Pp. 64-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.06.080>.
- [7] Ageev M.S, Lopata L., Smirnova T. Of combined electric arc coatings. *International Scientific Journal Problems of Tribology*. 2019. Vol. 24, №3/93. Pp. 51-61. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-93-3-51-61>.
- [8] Агєєв М.С, Устінцев С.М. Особливості формування газотермічних покриттів у разі відновлення робочих поверхонь деталей суднових технічних засобів. *Розвиток транспорту*. 2023, № 3(18). С. 76-84. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2023.3-18.06>.
- [9] The use of additive technologies for the restoration and strengthening of parts of transport means / V. Ma-teichyk et al. *TRANSCOM 2023: Proceedings of the 15th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, Transportation Research Procedia* 74, Mikulov, Czech Republic, 29-31 May 2023. Pp. 592-599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.186>.
- [10] Packham D.E. Theories of Fundamental Adhesion. *Handbook of Adhesion Technology* / ed. by L.F.M. da Silva, A. Öchsner, R.D. Adams. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. Pp. 9-38. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-01169-6_2.
- [11] Дерябкіна Е. Дослідження впливу способу нанесення покриттів на якість відновлених деталей засобів транспорту. *Машинобудування*. 2019. № 23. С. 100-106. DOI: <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2019-23-100-106>.

- [12] Нанесення покриття: Навч. посібник // В.М. Корж та ін. / за ред. К.А. Ющенко. К. : Арістей, 2005. 204 с.
- [13] Howes C.P. Thermal spraying: processes, preparation, coatings and applications. *Well. J.* 1994. Vol. 73, № 4. Pp. 47-51.
- [14] Композиційні та наплавочні матеріали. URL: <https://metallsplav.com.ua/ua/g9432901-kompozitsionnye-naplavochnye-materialy> (дата звернення: 17.03.2025).

ENSURING THE RELIABILITY OF VESSEL EQUIPMENT DURING THE RESTORATION OF PARTS BY GAS FLAME SPRAYING

Ahieiev M.S.

D.Sc. (Engineering), professor, Kherson State Maritime Academy, Kherson, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5691-8986>, e-mail: maxageev73-73@ukr.net

When restoring worn surfaces of ship technical equipment parts by gas flame spraying (GFS), the quality of the restoration coating is affected by various technological factors, such as the spraying distance, spray angle, composition of the gas mixture and design features – coating thickness, porosity, which subsequently determine the quality of the coating, the service life of the restored parts and the reliability of the entire mechanism [1]. Studies of the performance of the «coating – base» system have shown that the main reason for their destruction is insufficient contact between the coating material and the restored surface. In other words, one of the most important operational characteristics of parts with GFS coatings is the adhesion strength of the coating to the restored surface – a criterion used in the practice of restoring parts during the repair process. The adhesion characteristics of the coating determine its performance. Therefore, the work experimentally established the influence of technological parameters of GFS on the performance of restored surfaces and their functional connection. The work considers the possibility of obtaining GFS - surfaces that are self-lubricating through the use of anaerobic sealant as a separate issue. The purpose of the article is to establish the influence of technological parameters of the GFS process on the quality of the restoration coating, which determines its performance and reliability of ship technical equipment as a whole. As a result of the study, the mechanism of influence of technological parameters (spraying distance, material, composition of the gas mixture, etc.) and design features (coating thickness, porosity) of the GFS process on the quality of the resulting coating was clarified. Taking into account the influence of technological parameters of the GFS process and their functional relationship on the quality of the resulting coating makes it possible to control the spraying process and obtain coatings with pre-set properties. The dependence of the total porosity and adhesion strength of GFS coatings on the spraying distance, the influence of the thickness of the coatings on the ratio of the through and total porosity of the coatings, has been established.

Keywords: GFS-coating, technological parameters, ship technical means, performance, reliability, adhesion strength.

References

- [1] M.S. Ahieiev, and S.M. Ustintsev, «Prerequisites the formation of a logistics system for the repair of parts of the «shaft» type of ship technical facilities», in Proc. of the Int. sci. conf. «Features of innovative development in the field of technology: the comparative experience of Ukraine and the European Union», Wloclawek, the Republic of Poland, 2023, pp. 68-71. doi: 10.30525/978-9934-26-340-8-16.
- [2] D.E. Crawmer, «Coating structures, properties, and materials», in *Handbook of thermal spray technology*, R.C. Tucker, Jr., Ed., 2013, pp. 60-64. doi: 10.31399/asm.hb.v05a.a0005755.
- [3] M.S. Ahieiev, V.S. Manzheley, and A.K. Dzygar, «Nanesennia zakhysnykh pokryttiv dlia pidvyshchennia znosostiikosti ta resursu pry remonti valiv sudnovykh SDVZ» [«Application of protective coatings to increase wear resistance and resource during repair of ship SDVZ shafts»], in Proc. of the 11-th Int. Sci. and Pract. Conf. «Modern power plants on transport and technologies and equipment for their maintenance», Kherson, Ukraine, 2020, pp. 236-239. (Ukr.)
- [4] M.S. Ahieiev, and S.M. Ustintsev, «Upravlinnia tekhnolohiieiu vidnovlennia poverkhon detalei zasobiv transportu v protsesi remontu» [Management of the technology of restoration of surfaces of transport parts during the repair process], in Proc. of the 13-th Int. Sci. and Pract. Conf. «Modern power plants on transport and technologies and equipment for their maintenance», Kherson, Ukraine, 2022, pp. 169-173. (Ukr.)
- [5] U.U. Kelechi, E.I. Okwu, N. Barinyima, and O.K. Wofuru-Nyenke, «Improving the Operational Output of Marine Vessel Main Engine System through Cost Reduction using Reliability Technique», *International Journal of Engineering and Modern Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 36-52, 2022. doi: 10.56201/ijemt.v8.no2.2022.pg36.52.
- [6] R. Singh, S. Schrufer, S. Wilson, J. Gibmeier, and R. Vassen, «Influence of coating thickness on residual stress and adhesion-strength of cold-sprayed Inconel 718 coatings», *Surface and Coatings Technology*,

- vol. 350, pp. 64-73, 2018. doi: 10.1016/j.surf-coat.2018.06.080.
- [7] M.S. Ageev, L. Lopata, and T. Smirnova, «Of combined electric arc coatings», *International Scientific Journal Problems of Tribology*, vol. 24, № 3/93, pp. 51-61, 2019. doi: 10.31891/2079-1372-2019-93-3-51-61.
- [8] M.S. Ahieiev, and S.M. Ustintsev, «Osoblyvosti formuvannia hazotermichnykh pokryttiv u razi vidnovlennia robochykh poverkhon detalei sudnovykh tekhnichnykh zasobiv» [«Peculiarities of the formation of gas-thermal coatings in the case of restoration of the working surfaces of parts of ship's technical equipment»], *Rozvytok transportu – Transport Development*, no. 3(18), pp. 76-84, 2023. doi: 10.33082/td.2023.3-18.06. (Ukr.)
- [9] V. Mateichyk, M. Ahieiev, J. Mościszewski, S. Ustincev, M. Volodarets, and S. Kovbasenko, «The use of additive technologies for the restoration and strengthening of parts of transport means», in Proc. of the 15th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport TRANSCOM 2023, Transportation Research Procedia 74, Mikulov, Czech Republic, 2023, pp. 592-599. doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.186.
- [10] D.E. Packham, «Theories of Fundamental Adhesion», in *Handbook of Adhesion Technology*, L.F.M. da Silva, A. Öchsner, R.D. Adams, Eds., Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 9-38. doi: 10.1007/978-3-642-01169-6_2.
- [11] E. Deryabkina, «Doslidzhennia vplyvu sposobu nanesennia pokryttiv na yakist vidnovlennykh detalei zasobiv transportu» [«Research on the influence of the method of coating application on the quality of restored parts of vehicles»], *Mashynobuduvannia – Mechanical Engineering*, no. 23, pp. 100-106, 2019. doi: 10.32820/2079-1747-2019-23-100-106. (Ukr.)
- [12] V.M. Korzh, *Nanesennia pokryttia: Navch. posibnyk* [Coating application: Textbook], V.M. Korzh, V.D. Kuznetsov, Y.S. Borisov, K.A. Yushchenko, Eds. Kyiv, Ukraine: Aristey Publ., 2005. (Ukr.)
- [13] C.P. Howes, «Thermal spraying: processes, preparation, coatings and applications», *Well. J.*, vol. 73, № 4, pp. 47-51, 1994.
- [14] Kompozytsiini ta naplavochni materialy (Composite and surfacing materials). [Online]. Available: <https://metallsplav.com.ua/ua/g9432901-kompozitsionnye-naplavochnye-materialy>. Accessed on: March 17, 2025.
- Стаття надійшла 03.04.2025
Стаття прийнята 28.04.2025
Стаття опублікована 30.06.2025

Цитуйте цю статтю як: Агєєв М.С. Забезпечення надійності суднових технічних засобів при відновленні деталей газополум'яневим напиленням. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 50. С. 247-253. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336421>.