

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.793.724

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.75-81](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.75-81)

**В.М. Гвоздецький**, ст. дослідник, канд. техн. наук, **М.М. Студент**, проф., д-р. техн. наук, пров.наук. співр., **Х.Р. Задорожна**, наук. співр., канд. техн. наук  
*Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна*

**С.І. Маркович**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*e-mail: gvosdetcki@gmail.com, 880988@ukr.net, student.phmi@gmail.com*  
*markob0@ukr.net*

## Вплив матеріалу металевої основи на механічні характеристики електродугових покриттів

В роботі проведено дослідження впливу матеріалу металевої основи (алюмінієвого сплаву Д16 та сталі Ст 3) на механічні характеристики електродугових покриттів. Покриття з порошкового дроту наносились в режимах дозвукового (тиск 0,6 МПа) та надзвукового повітряного струменю (тиск 1,2 МПа). При цьому виявлено наявність дисперснішої структури, меншу кількість пор і мікротріщин. Для оцінки роботоздатності покриттів введено новий параметр, а саме – співвідношення між величинами залишкових напружень розтягу I роду та когезивної міцності –  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$ . Визначено, що утворення тріщин починається при значеннях цього показнику  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}} > 0,75$ , тоді як за  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}} > 0,85$  у покриттях виникає мережа тріщин. Рівень напружень розтягу першого роду у покриттях напилених на алюмінієву основу є меншим ніж у покриттях напилених на сталь, що зумовлено більшим коефіцієнтом термічного розширення алюмінієвого сплаву ніж сталі.

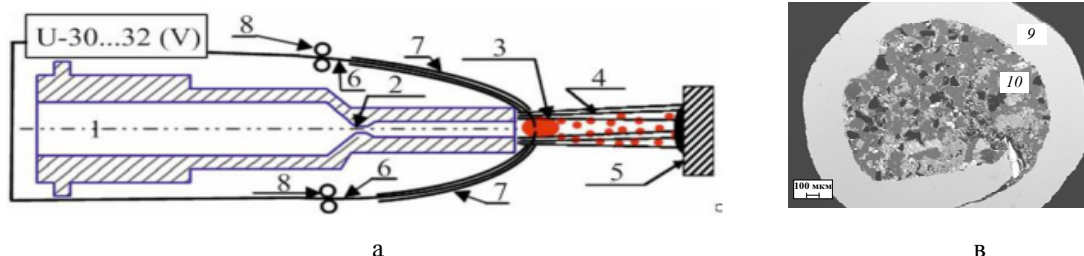
**електродугові покриття, режим напилення, залишкові напруження, когезивна міцність**

**Постановка проблеми.** Алюмінієві сплави широко використовують у промисловості завдяки їх високій конструкційній міцності, ливарним властивостям, низькій питомій вазі та температурі плавлення. Разом з тим алюмінієві сплави характеризуються низькою абразивною зносостійкістю, що суттєво стримує їх широке використання в технологічних середовищах, особливо за наявності в них абразивних часточок. Останнім часом склалась тенденція на заміну сталей алюмінієвими сплавами із зносостійкими покриттями. Це дає змогу зменшити, по-перше, вагу деталей, а по-друге, викиди вуглекислого газу в атмосферу та парниковий ефект [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Газотермічні методи напилення широко використовуються для відновлення та підвищення зносостійкості сталевих а також алюмінієвих сплавів. Серед них метод електродугового напилення покриттів (ЕДНП) є найдешевшим та технологічно найпростішим, а використання спеціальних порошкових дротів (ПД) дозволяє отримувати покриття на рівні плазмових [4-7]. В процесі ЕДНП на сталеву основу виникають значні напруження розтягу, які можуть зумовити появу мікро та макротріщин у покриттях [8 -9]. В літературних джерелах відсутні дані про когезивну міцність та рівень напружень, які формуються у покриттях із ПД напилених на основу із алюмінієвих сплавів, що стримує розроблення технології відновлення деталей із алюмінієвих сплавів методом ЕДНП із ПД [10 -12].

**Постановка завдання.** Мета роботи: дослідити механічні характеристики ЕДНП напилених на зразки із алюмінієвого сплаву Д16 та порівняти з механічними характеристиками покриттів напилених на сталеву основу за однакових параметрів.

**Виклад основного матеріалу.** Методика напилення ЕДНП. Для напилення ЕДП використано електрометалізатор із системою розпилювання покриттів з двома вертикально розташованими повітряними каналами для формування надзвукової швидкості повітряного потоку (з числом Маха 2) рис. 1. Для розрахунку характерних розмірів такого сопла використовувалися формули, наведені в [13].



1 – потік повітря; 2 – критичний переріз сопла; 3 – розплав лектродних матеріалів; 4 – металоповітряний потік; 5 – сталева або алюмінієва підкладка з напилюваним покриттям; 6 – порошкові дроти; 7 – направляючі плашки; 8 – ролики для подачі дроту; 9 – оболонка ПД; 10 – шихта ПД

Рисунок 1 – Схема сопла (а) для отримання надзвукового потоку при ЕДНП з порошкового дроту (б)

*Джерело: розроблено авторами*

ПД, поперечний переріз яких наведено на (рис. 1 б), виготовляли з шихтових матеріалів (феросплави та чисті метали) в оболонці, товщиною 0,4 мм і шириною 10 мм, зі сталі 08кп. Коефіцієнт заповнення ПД шихтою становив 24%. Покриття напиляли за наступних режимів: струм 150 А, напруга дуги 30...32 В. Розпилення розплаву ПД здійснювалося потоком стисненого повітря під тиском 0,6 та 1,2 МПа на дистанції напилення покриттів 130 мм.

Залишкові напруження розтягу I роду ( $\sigma_{\text{кол}}$ ) в покриттях були визначені на кільці діаметром 60 мм, висотою 20 мм і товщиною стінки 4 мм. Нанесення ЕДНП товщиною  $1 \pm 0,1$  мм на зовнішню поверхню кільця відбувалося під час переміщення країв поздовжнього наскрізного його перерізу один відносно одного. Їхнє зміщення  $\Delta K$  вимірювали експериментально, а залишкові напруження в напиленому покритті розраховували за методикою, запропонованою для біметалевого кільця з відношенням радіуса в центрі товщини його стінки до її товщини не менше десяти [14,15].

**Експериментальні результати.** Структура ЕДНП із ПД за використання дозвукового (тиск 0,6 МПа) та надзвукового повітряного струменю (тиск 1,2 МПа). ЕДНП із досліджуваних ПД напилени на сталеву або алюмінієву основу мають типову ламелярну будову рис. 2., рис. 3.

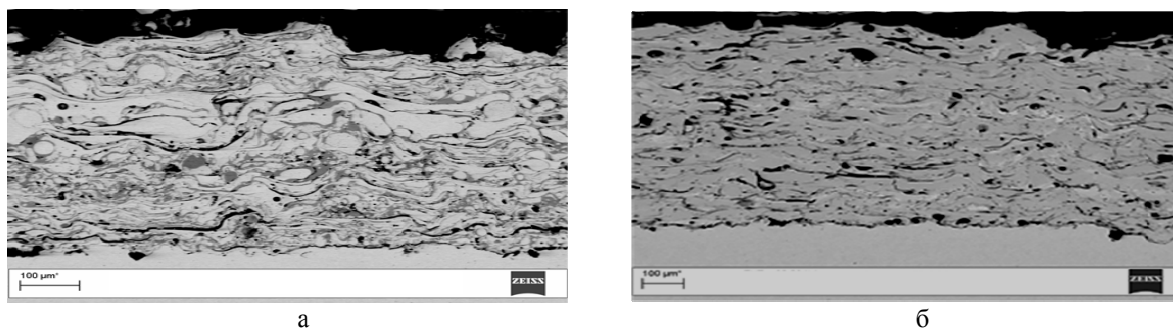
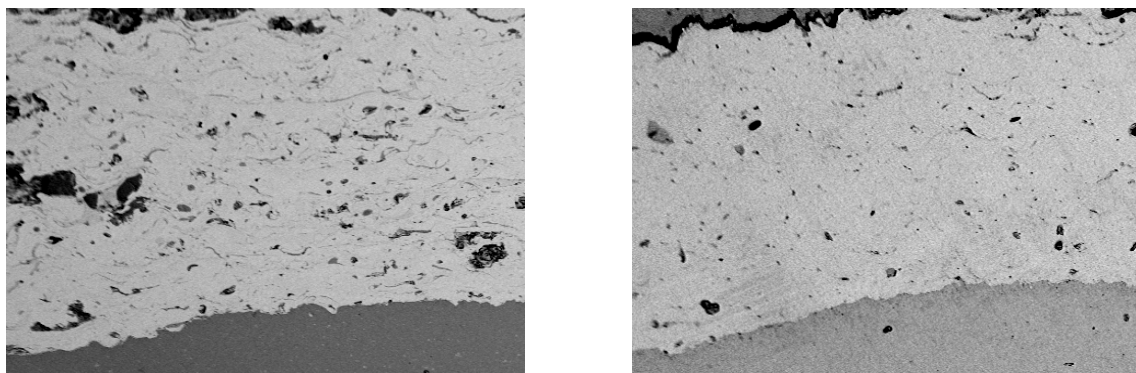


Рисунок 2 – Структура ЕДП з ПД90Х6Р2ГС напиленого за тиску повітряного струменя 0,6 (а) та 1,2 (б) МПа на сталі Ст3

*Джерело: розроблено авторами*

За використання надзвукового повітряного струменю (тиск 1,2 МПа) порівняно з дозвуковим (тиск 0,6 МПа) ЕДНП мають дисперснішу структуру та меншу кількість пор. Ламелі (закристалізовані краплини розплаву ПД) покриттів напилених за надзвукового режиму більш розплющені та мають більше місць приварок між собою. Як правило у структурі покриттів із ПД напилених за дозвукового режиму є більше мікротріщин, аніж у покриттях напилених за надзвукового режиму. Це зумовлено більшою кінетичною енергією краплин напилених за надзвукового режиму, а також меншими за величиною залишковими напруженнями розтягу I роду у покриттях.

У структурі покриттів напилених на алюмінієву основу зафіксовано суттєво менше пор та мікротріщин рис. 3. На поверхні алюмінієвих сплавів завжди присутня природна тугоплавка плівка з  $T_{пл} = 2050^\circ\text{C}$ , яка суттєво зменшує міцність зчеплення покриттів з алюмінієвою основою. Використання екзотермічної шихти (FeCr+V<sub>4</sub>C) у ПД підвищило температуру краплин розплаву ПД до  $2400^\circ\text{C}$ , що полегшило плавлення поверхневої плівки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та сплавлення краплин із алюмінієвою основою і як наслідок міцність зчеплення покриття із основою зросла на 70% до 50 МПа.



а б  
Рисунок 3 – Структура ЕДП з ПД 90Х6Р2ГС напиленого за тиску повітряного струменю 0,6 (а) та 1,2 (б) МПа на сплаві Д16

*Джерело: розроблено авторами*

Більш потужний надзвуковий струмінь повітря інтенсивніше диспергує розплав порошкових дрітків в процесі напилення покриттів. При цьому утворюються більш дрібні краплини розплаву ПД, які мають більшу кінетичну енергію. Так при збільшенні тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа швидкість польоту на дистанції напилення зростає від 130 м/сек до 250 м/сек, максимальний діаметр краплин зменшується від 150 мкм до 50 мкм а розмір дрібнодисперсних виділень боридів Fe(Cr)<sub>2</sub>V у структурі покриттів зменшується від 500 до 200 нм.

Вплив матеріалу підкладки на механічні характеристики ЕДНП. Збільшення вмісту хрому в шихті ПД від 6 до 17 мас.% спричиняє зростання когезійної міцності ( $\sigma_b$ ) покриттів, напилених за дозвукового тиску повітряного струменю (0,6 МПа) від 160 до 215 МПа на сталі Ст3 та сплаві Д16. Це зумовлено тим, що зі збільшенням вмісту хрому зменшується окиснення краплин, які в процесі напилення формують покриття. При цьому відбувається інтенсивніше мікроприварювання ламелей покриття між собою та зростає міцність зв'язку між ними. Застосування надзвукового тиску повітряного струменю для напилення покриттів збільшує кінетичну енергію краплин, що їх формують, і, як наслідок, підвищує їх когезійну міцність на 5...25% (табл.1).

В процесі напилення покриттів краплини з розплаву ПД кристалізуються на холодній поверхні деталі і зменшуються в розмірах. При цьому у покриттях виникають значні залишкові напруження розтягу першого роду –  $\sigma_{кол}$  (табл.1). Із збільшенням

вмісту хрому у покритті від 6 до 17 мас.% напиленого за дозвукового тиску повітряного струменя на сталі Ст3, рівень залишкових напружень розтягу I роду зростає від 16 до 115 МПа. Рівень залишкових напружень розтягу у покриттях напилених на сплав Д16 є суттєво меншим. Застосування надзвукового повітряного струменя дещо зменшує їх рівень залишкових напружень розтягу як на сталі Ст. 3 так і на Д16. Величина залишкових напружень розтягу I роду залежить в значній мірі від коефіцієнта теплового розширення фазових складових, які утворюють покриття та основи. Коефіцієнт термічного розширення сталевих основи із маловуглецевої сталі становить  $(1,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1})$ , а алюмінієвого сплаву Д16  $(2,34 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1})$  за кімнатної температури. При напиленні покриттів сталеві та алюмінієві основи нагріваються до  $100 \dots 150^\circ \text{C}$ . а після напилення покриття разом охолоджуються. Внаслідок різних коефіцієнтів покриття та основи виникають напруження розтягу у покриттях I роду. Коефіцієнт термічного розширення алюмінієвої основи є більшим ніж сталеві тому у покриттях напилених на алюмінієву основу рівень напружень розтягу є меншим ніж у покриттях напилених на сталь. Покриття зі вмістом хрому 6 мас.% має високу когезійну міцність і найменший рівень залишкових напружень розтягу I роду завдяки матричній фазі мартенситу. Зі збільшенням вмісту хрому у ПД зростає вміст аустеніту у покритті, що зумовлює підвищення рівня залишкових напружень розтягу I роду.

Якщо залишкові напруження розтягу I роду за величиною наближаються до величини когезійної міцності, то в цьому випадку в покриттях виникають мікро-, або макротріщини, що спричиняють їх руйнування. Тому, важливою є не лише величина когезивної міцності покриттів, а й величина їх залишкових напружень розтягу I роду. Для кваліфікованої оцінки роботоздатності покриттів нами введено новий параметр, а саме – співвідношення між величинами залишкових напружень розтягу I роду та когезивної міцності –  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$ .

Застосування надзвукового режиму напилення покриттів досить суттєво зменшує цей показник, що може свідчити про кращі характеристики їх роботоздатності. Застосування надзвукового режиму напилення ще сильніше підвищує когезійну міцність покриттів (табл.1), проте при цьому суттєво зростає рівень залишкових напружень розтягу I роду в покриттях напилених на сталь, а параметр роботоздатності  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$  наближається до критичної межі ( $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}} > 0,75$ , за якої в напиленому покритті утворюються мікротріщини (рис. 4,а). Рівень залишкових напружень розтягу I роду в покриттях напилених на алюмінієвий сплав Д15 є суттєво менший (табл.1) а параметр роботоздатності  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$  значно менший ніж для сталі рис.4,б.

Таблиця 1 – Вплив матеріалу підкладки на механічні характеристики електродугових покриттів

Марка ПД	Тиск повітряного струменя, МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{\text{кол}}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{\text{кол}}$ , МПа
		Основа сталь Ст3		Основа алюмінієвий сплав Д16	
ПД90Х6ГС	0,6	160	16	150	17
	1,2	215	55	210	26
ПД90Х6РГС	0,6	210	80	205	57
	1,2	260	75	265	55
ПД90Х17РГС	0,6	235	188	230	46
	1,2	326	193	320	35
ПД90Х17Р2ГС	0,6	200	125	205	58
	1,2	270	110	265	40

Параметр  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$  для покриття напиленого на сталь сильно зростає зі збільшенням вмісту Cr в ПД з 2 мас.% В, проте не досягає критичного значення при якому в напилених покриттях утворюються мікротріщини в процесі кристалізації та охолодження до кімнатної температури (рис. 4).

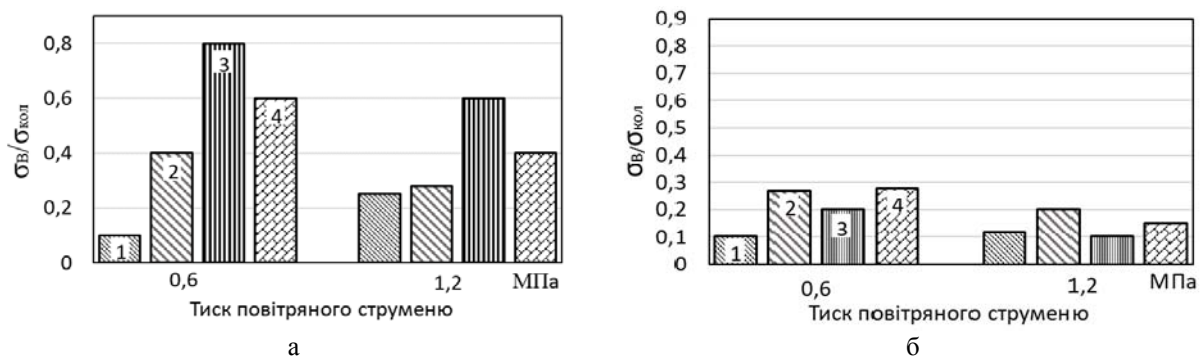


Рисунок 4 - Вплив хімічного складу ПД на параметр  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$  для покриттів напилених з ПД за різних тисків повітряного струменю: а - на сталі Ст3, б - на алюмінієвому сплаві Д16: ПД90Х6ГС-1, ПД90Х6РГС-2, ПД90Х17РГС-3, ПД90Х17Р2ГС-4.

Джерело: розроблено авторами

### Висновки:

1. Застосування надзвукового повітряного струменю для напилення покриттів збільшує кінетичну енергію краплин, що формують покриття, і, як наслідок, підвищує когезійну міцність покриттів та зменшує величину залишкових напружень розтягу I роду в них на сталій та алюмінієвій основі.

2. Співвідношення залишкових напружень розтягу I роду у покриттях  $\sigma_{\text{кол}}$  до їх когезивної міцності  $\sigma_{\text{в}}$  ( $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}}$ ) запропоновано використовувати як показник стійкості покриття до розтріскування. На основі аналізу отриманих покриттів показано, що тріщини починають утворюватися в покриттях, для яких показник  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}} > 0,75$ , тоді як за  $\sigma_{\text{кол}}/\sigma_{\text{в}} > 0,85$  у покриттях виникає мережа тріщин.

3. Рівень напружень розтягу першого роду у покриттях напилених на алюмінієву основу є меншим ніж у покриттях напилених на сталь, що зумовлено більшим коефіцієнтом термічного розширення алюмінієвого сплаву Д16 ніж сталі Ст3.

### Список літератури

1. Перспективи використання плазмового напилення при відновленні поверхонь штоків циліндрів авіаційної техніки / С.В. Устінов, І.О. Буліч, Г.О. Шумілін *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2022. Вип. 18 (25) 107-200, DOI: 10.54858/dndia.2022-18-30
2. Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова, Л.І. Адєєва, А.Ю. Тунік, М.Т. Панько Газотермічні покриття, що містять квазікристалічну фазу, властивості і застосування (огляд) / *Фізика і хімія твердого тіла* т. 6, № 1 (2005) с. 124-136 v. 6, № 1 (2005) p. 124-136
3. Danial Qadir, Rabia Sharif, Rizwan Nasir, Ali Awad /A review on coatings through thermal spraying // *Chemical Papers* 78(2) September 2023, DOI:10.1007/s11696-023-03089-4
4. Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures / Wielage B. et al. *Surface and coating technology*. 2013. № 220. P. 27–35.
5. Arc-sprayed iron-based coatings for erosion-corrosion protection of boiler tubes at elevated temperatures / Pokhmurskyi V. I. et al. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2013. Vol. 22. P. 34-41
6. Optimization of the Chromium Content of Powder Wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B Systems According to the Corrosion Resistance of Electric-Arc Coatings / Stupnyts'kyi T.R. et al. *Materials Science*. 2016. Vol. 52, № 2. P. 165–172.
7. Abrasive Wear Resistance and Tribological Characteristics of Electrometallized Composite Coatings / Student, M.M. et al. *Materials Science*. 2022, 58(1). P. 96–104

8. Багатофункціональні електродугові покриття : монографія / М. М. Студент та ін. - Львів : Простір-М, 2018. 335 с.
9. Mechanical properties of arc coatings sprayed with cored wires with different charge compositions / Student, M.; Hvozdet'skyi, V.; Stupnytskyi, T.; Student, O.; Maruschak, P.; Prentkovskis, O.; Skačkauskas, P. *Coatings*, 2022, 12(7), 925. DOI:10.3390/coatings12070925
10. Вплив діаметра електродних порошкових дровів на механічні характеристики електродугових покриттів / Студент М.М. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С. 32-44.
11. Application of Functional Coating in Delaying the Corrosion of Titanium Alloys: A Review, Chapter, Jun 2024 / Obidimma Ikeh, Ugochukwu Okoli, Amamchukwu Ilogebe, // *Corrosion Engineering - Recent Breakthroughs and Innovative Solutions*, Submitted: 24 June 2024 DOI: 10.5772/intechopen.1005679
12. Review of Functionally Graded Thermal Sprayed Coatings / Leszek Łatka, Lech Pawłowski, Marcin Winnicki, Paweł Sokołowski, Aleksandra Małachowska, Stefan Kozerski // *Appl. Sci.* 2020, 10(15), 5153; <https://doi.org/10.3390/app10155153>
13. The effect of increasing the air flow pressure on the properties of coatings during the arc spraying of cored wires./ Student Mykhailo, Gvozdet'sky Volodymyr, Student Oleksandra, Prentkovskis Olegas, Maruschak Pavlo, Olenyuk Olena, Titova Liudmyla. *Strojnícky časopis - Journal of Mechanical Engineering* 69(4):133-146 December 2019, DOI:10.2478/scjme-2019-0048
14. Mechanical Properties of Arc Coatings Sprayed with Cored Wires with Different Charge Compositions / Student M. et al. *Coatings*. 2022. №12(7). 925.
15. Абразивна зносостійкість та трибологічні характеристики електрометалізаційних композиційних покриттів / М.М. Студент та ін. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2022. № 1. С. 90-97.

## References

1. Prospects for the use of plasma spraying in the restoration of the surfaces of the cylinder rods of aviation equipment / S.V. Ustinov, I.O. Bulich, G.O. Shumilin Collection of Scientific Works of the State Research Institute of Aviation.
2. Yu. Borisov, A. Borisova, L. Adeeva, A. Tunik, M. Panko Thermal sprayed coatings containing quasicrystalline phase, their properties and application / *Physics and chemistry of solid state* т. 6, № 1 (2005) с. 124-136 v. 6, № 1 (2005). P. 124-136
3. Danial Qadir, Rabia Sharif, Rizwan Nasir, Ali Awad /A review on coatings through thermal spraying // *Chemical Papers* 78(2) September 2023, DOI:10.1007/s11696-023-03089-4
4. Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures / Wielage B. et al. *Surface and coating technology*. 2013. № 220. P. 27–35.
5. Arc-sprayed iron-based coatings for erosion-corrosion protection of boiler tubes at elevated temperatures / Pokhmurskyi V. I. et al. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2013. Vol. 22. P. 34-41
6. Optimization of the Chromium Content of Powder Wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B Systems According to the Corrosion Resistance of Electric-Arc Coatings / Stupnyts'kyi T.R. et al. *Materials Science*. 2016. Vol. 52, № 2. P. 165–172.
7. Abrasive Wear Resistance and Tribological Characteristics of Electrometallized Composite Coatings / Student, M.M. et al. *Materials Science*. 2022, 58(1). P. 96–104
8. Student, M. M., Pokhmurs'ka, H. V., Hvozdet'skyj, V. M. et al. (2018). Bahatofunktsional'ni elektroduhovi pokryttia [Multifunctional electric arc coatings]. Lviv : Prostir-M [in Ukrainian].
9. Mechanical properties of arc coatings sprayed with cored wires with different charge compositions / Student, M.; Hvozdet'skyi, V.; Stupnytskyi, T.; Student, O.; Maruschak, P.; Prentkovskis, O.; Skačkauskas, P. *Coatings*, 2022, 12(7), 925. DOI:10.3390/coatings12070925
10. Student, M.M. et al. (2020). Vplyv diametra elektrodnykh poroshkovykh drotiv na mekhanichni kharakterystyky elektroduhovykh pokryttiv [The effect of the diameter of the electrode flux-cored wires on the mechanical characteristics of electric arc coatings]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky - Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 3(34), 32-44 [in Ukrainian].
11. Application of Functional Coating in Delaying the Corrosion of Titanium Alloys: A Review, Chapter, Jun 2024 / Obidimma Ikeh, Ugochukwu Okoli, Amamchukwu Ilogebe, // *Corrosion Engineering - Recent Breakthroughs and Innovative Solutions*, Submitted: 24 June 2024 DOI: 10.5772/intechopen.1005679
12. Review of Functionally Graded Thermal Sprayed Coatings / Leszek Łatka, Lech Pawłowski, Marcin Winnicki, Paweł Sokołowski, Aleksandra Małachowska, Stefan Kozerski // *Appl. Sci.* 2020, 10(15), 5153; <https://doi.org/10.3390/app10155153>

13. The effect of increasing the air flow pressure on the properties of coatings during the arc spraying of cored wires./ Student Mykhailo, Gvozdetzky Volodymyr, Student Oleksandra, Prentkovskis Olegas, Maruschak Pavlo, Olenyuk Olena, Titova Liudmyla. *Strojnícky časopis - Journal of Mechanical Engineering* 69(4):133-146 December 2019, DOI:10.2478/scjme-2019-0048
14. Mechanical Properties of Arc Coatings Sprayed with Cored Wires with Different Charge Compositions / Student M. et al. *Coatings*. 2022. №12(7). 925.
15. Student M.M., et al. (2022). Abrazyvna znosostijkist' ta trybolohichni kharakterystyky elektrometalizatsijnykh kompozytsijnykh pokryttiv [Abrasive wear resistance and tribological characteristics of electrometallization composite coatings]. *Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv – Physicochemical Mechanics of Materials*, 1, 90-97 [in Ukrainian].

**Volodymyr Hvozdetzkyi**, PhD tech. sci., Senior Research, **Mykhajlo Student**, Prof., leading researcher, **Khrystyna Zadopozna**, PhD tech. sci., Senior Research

*Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine*

**Sergiy Markovych**, Assos. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

### **Influence of Metal Base Material on Mechanical Characteristics of Arc-Deposited Coatings**

Aluminum alloys are characterized by low abrasive wear resistance, which significantly hinders their widespread use in technological environments, especially in the presence of abrasive particles. Recently, there has been a trend to replace steels with aluminum alloys with wear-resistant coatings. This makes it possible to reduce, firstly, the weight of parts, and secondly, carbon dioxide emissions into the atmosphere and the greenhouse effect. In the process of spraying wear-resistant coatings on a steel base, significant tensile stresses arise in the coating, which can lead to the appearance of micro and macro cracks in the coatings. There is no reliable data in the literature on the cohesive strength and level of stresses that are formed in powder wire coatings sprayed on a base of aluminum alloys, which hinders the development of a technology for restoring aluminum alloy parts by electric arc spraying.

The purpose of the work: to investigate the mechanical characteristics of electric arc coatings sprayed on samples of aluminum alloy D16 and compare them with the mechanical characteristics of coatings sprayed on a steel base with the same parameters.

For spraying, an electrometallizer with a coating spraying system with two vertically arranged air channels was used to form a supersonic air flow velocity (with a Mach number of 2). Electric arc coatings sprayed on a steel or aluminum base have a typical lamellar structure. When using a supersonic air jet (pressure 1.2 MPa) compared to a subsonic (pressure 0.6 MPa) coating has a more dispersed structure and a smaller number of pores. In the structure of coatings sprayed onto an aluminum base, significantly fewer pores and microcracks were recorded. On the surface of aluminum alloys, there is always a natural refractory film with  $T_{pl} = 2050^{\circ}\text{C}$ , which significantly reduces the adhesion strength of coatings to the aluminum base. The use of an exothermic charge ( $\text{FeCr}+\text{B}_4\text{C}$ ) increased the temperature of the melt droplets to  $2400^{\circ}\text{C}$ , which facilitated the melting of the surface film  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and the fusion of droplets with the aluminum base, and as a result, the adhesion strength of the coating to the base increased by 70% to 50 MPa. To assess the operability of coatings, a new parameter was introduced, namely the ratio between the values of the residual tensile stresses of the first kind and the cohesive strength -  $\sigma_{col}/\sigma_v$ . It was determined that the formation of cracks begins at the values of this indicator  $\sigma_{col}/\sigma_v > 0,75$ , while at  $\sigma_{col}/\sigma_v > 0,85$  a network of cracks appears in the coatings.

Conclusions. 1. The use of a supersonic air jet for spraying coatings increases the kinetic energy of the droplets forming the coating, and, as a result, increases the cohesive strength of the coatings and reduces the magnitude of the residual tensile stresses of the first kind in them on a steel and aluminum base.

2. The ratio of the residual tensile stresses of the first kind in coatings  $\sigma_{col}$  to their cohesive strength  $\sigma_v$  ( $\sigma_{col}/\sigma_v$ ) is proposed to be used as an indicator of the coating's resistance to cracking. Based on the analysis of the obtained coatings, it is shown that cracks begin to form in coatings for which the indicator  $\sigma_{col}/\sigma_v > 0.75$ , while at  $\sigma_{col}/\sigma_v > 0.85$  a network of cracks appears in the coatings.

3. The level of tensile stresses of the first kind in coatings sprayed onto an aluminum base is lower than in coatings sprayed onto steel, which is due to the greater coefficient of thermal expansion of the aluminum alloy D16 than that of steel St3.

*Одержано (Received) 01.11.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 10.12.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 23.12.2024*