

## СТРУКТУРА Й ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКОВИХ ГАЗОПЛАЗМЕННИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

Глушкова Д. Б.<sup>1</sup>, Багров В. А.<sup>1</sup>, Демченко С. В.<sup>1</sup>,  
Волчук В. М.<sup>2</sup>, Калінін О. В.<sup>2</sup>, Калініна Н. Є.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

<sup>2</sup>Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна

<sup>3</sup>Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, Дніпро, Україна

**Анотація.** Розвиток сучасної техніки потребує постійного підвищення надійності та довговічності виробів. Широко застосовувані в практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому за кілька сотень годин спрацьовуються, вони незадовільно працюють на тертя та зношування за високих температур. Предметом дослідження були порошкові матеріали на основі нікелю ПГ-СР3 та ПГ-СР4. Робота присвячена дослідженню формування газоплазмових покриттів на деталях циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння з використанням самофлюсованих порошків на основі нікелю, а також зміна структури та властивостей після напилення покриття, його оплавлення, подальшого загартування.

**Ключові слова:** порошки, покриття, напилення газоплазмове.

### Вступ

Значне місце у виробництві деталей різного призначення посідає виготовлення поршневих кілець двигунів внутрішнього згоряння, основною причиною виходу з експлуатації яких є зношування робочих поверхонь. Тому велика увага приділяється проблемам підвищення зносостійкості поверхонь пар тертя поршневе кільце-гільза та власне поршневих кілець.

Поєднання в одному матеріалі високої твердості з високою пластичністю реально лише у гетерогенному металі.

На сьогодні практично відсутні надійні критерії оптимізації складу та структури покриттів, отриманих під час високоенергетичної дії, та прогнозування їхньої працездатності й довговічності в умовах тертя. Унаслідок залежності міцності та зносостійкості покриттів від численних факторів, пов'язаних із властивостями матеріалів підкладки та покриття та параметрами технології їхнього нанесення, виникає необхідність проведення експериментальних досліджень. Установлення теоретичних і технологічних основ формування прогнозованих структур і властивостей деталей, що труться за умов високоенергетичного впливу для підвищення їхньої довговічності є важливою і актуальною проблемою. Вирішення цієї проблеми відкриває широкі можливості в прогнозуванні та керуванні функціональними характеристиками поршневих кілець у широкому діапазоні умов експлуатації.

### Аналіз публікацій

Висока надійність і довговічність двигуна багато в чому залежить від деталей циліндро-поршневої групи. Це пов'язано з тим, що форсування двигуна внутрішнього згоряння призводить до значного збільшення питомих навантажень та температури деталей циліндро-поршневої групи, що є причиною тріщиноутворення та руйнування деталей. Оскільки зазначені деталі працюють в умовах інтенсивного тертя та зношування, для них необхідно забезпечити високу зносостійкість поверхні [1].

Поломка поршневих кілець спостерігається майже в усіх типах двигунів. Широко використовувані в практиці вітчизняного й зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому часом досить добре задовольняють вимоги, що висуваються поршневим кільцям. Але пористий шар хрому завтовшки 40–50 мкм протягом кількох годин роботи спрацьовується, і тоді починає зношуватися тверда основа [1–4]. Електролітичний хром незадовільно працює на тертя та зношування за високих температур, що призводить до знеміцнювання.

Багатокомпонентні покриття мають комплекс властивостей, що відповідають умовам роботи форсованих дизелів. Але технологія нанесення таких покриттів дуже трудомістка та економічно виправдана лише в особливих випадках [3–5].

У сучасній практиці замість традиційних методів хіміко-термічного оброблення для зміцнення поверхні широко застосовують високотемпературні методи оброблення, зокрема газоплазмове напилення. Процес визначається високою продуктивністю, простотою, можливістю автоматизації для забезпечення достатньої якості поверхні [1–3; 6].

Для газоплазмового та інших видів напилення найбільш ефективним є використання порошків ПГ-СР3, ПГ-СР4 на основі нікелю з додаванням хрому, кремнію, бору тощо (сплави системи Ni-Cr-Si-B) [1; 3]. Вони забезпечують високу твердість та зносостійкість поверхні. У літературі немає конкретних даних про структуру досліджуваних порошків у процесі взаємодії їх із чавунною основою. Зазначається лише [3–5], що й висока твердість і зносостійкість обумовлені наявністю карбідів, боридів, карбоборидів.

#### Мета та постановка завдання

Об'єктом дослідження є процеси формування структури та властивостей покриттів із порошкових матеріалів, нанесених на поршневі кільця газотермічним напиленням.

Мета роботи – дослідження порошкових матеріалів, нанесених на робочі поверхні поршневих кілець газотермічним напиленням.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати зміни структури та властивостей покриттів із порошків ПГ-СР (системи сплавів Ni-Cr-Si-B).
2. Для покриттів із досліджуваних порошків визначити доцільність термічного оброблення.
3. Визначити вплив покриттів із порошків ПГ-СР на зносостійкість деталей, що працюють в умовах абразивного зношування та корозії.

#### Матеріал та методики досліджень

Як матеріали для зміцнення поршневих кілець узяті порошкові матеріали на основі нікелю, що можуть забезпечити необхідні властивості для умов роботи обраних деталей і задовольняють вимоги до напилюваних матеріалів (табл. 1).

Покриття із самофлюсних сплавів типу ПНХСР рекомендуються, за літературними джерелами [5–7], для створення стійкості до

абразивного та ерозійного зношування в умовах корозії та кавітації.

Тому порошкові матеріали зі сплавів ПН73Х16С3Р3, ПН70Х17С4Р4 були взяті за основу для пошуку способів підвищення опору абразивному зношуванню в умовах корозії деталей, виконаних із сірого чавуну (табл. 2).

Таблиця 1 – Хімічний склад порошкових матеріалів

Марка порошку	Хімічний склад, %					
	Cr	Si	B	Fe	C	Ni
ПГ-СР4 тип	16,0- 18,0	3,8- 4,5	2,9- 4,0	5,0	0,8- 1,2	ос- нова
ПН70Х17С4Р4						
ПГ-СР3 тип	15,0- 17,0	2,7- 3,7	2,2- 3,0	5,0	0,6- 0,9	"-"
ПН73Х16С3Р3						

Таблиця 2 – Хімічний склад сірого чавуну

Чавун СЧ 25	вміст елементів, %					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P
	3,2– 3,4	1,4– 1,7	0,6– 0,9	-	-	до 0,3

Нанесення покриття передбачає такі операції: попередню підготовку поверхні виробу під покриття, власне процес нанесення покриття (рис. 1), подальше оброблення в разі потреби (оплавлення, термічне оброблення та ін.) [8–11]. Експлуатаційні властивості покриттів формуються у всіх операціях їхнього отримання, тому досліджували вплив зазначених операцій на структуру й властивості покриття. Структура порошків для напилення покриттів наведена на рис. 2.

Для очищення поверхні, що напилюється, і виведення її зі стану термодинамічної рівноваги із середовищем застосовували дробострумне оброблення. Як абразивний матеріал використовували дріб зернистістю 0,5–1,5 мм (ГОСТ 11964-66). Обдування здійснювали в умовах тиску стисненого повітря не менше ніж 0,4 МПа. Зона дробострумного оброблення не менше ніж на 3 мм більша від зони напилення. Іншим способом активації напиленої поверхні в плазмовому напиленні є її нагрівання до температур 50–130 °С залежно від матеріалу деталі. Попередній підігрів проводили безпосередньо плазмовим пальником (табл. 3).

Таблиця 3 – Режими попереднього підігріву

Плазموутворювальний газ	Струм плазмотрона, А	Напруга дуги, В	Дистанція підігріву, мм	Витрата плазмоутворювального газу, л/хв	Швидкість переміщення плазмотрона, мм/хв
Аргон + азот (23–35 %)	325–350	50–55	130–150	35–40	400–600

### Результати досліджень

Режими плазмового наплення, наведені в табл. 4, здійснювали за таких постійних параметрів:

- швидкість обертання зразків – 45 об/хв, лінійна швидкість переміщення зразків щодо плазмового струменя – 18,4 м/хв;

- діаметр виготовленого з шихти проводу в соплі анода – 2 мм;  
- відстань від місця введення порошку до зрізу сопла – 4 мм;  
- вісь плазмового струменя перпендикулярна до осі обертання зразка.

Таблиця 4 – Режими плазмового наплення

Напилюваний матеріал	Фракції, мкм	Параметри режиму наплення						
		Струм плазмотрона, А	Напруга дуги, В	Дистанція наплення, мм	Плазмотворююча газова суміш	Витрата плазмотворюючого газу, л/хв	Витрата газу, що транспортує, л/хв	Витрата порошку, кг/год
ПРХСР	45-100	280-300	40-45	100-120	5-10	35-40	6,0-9,0	2,5-3,3

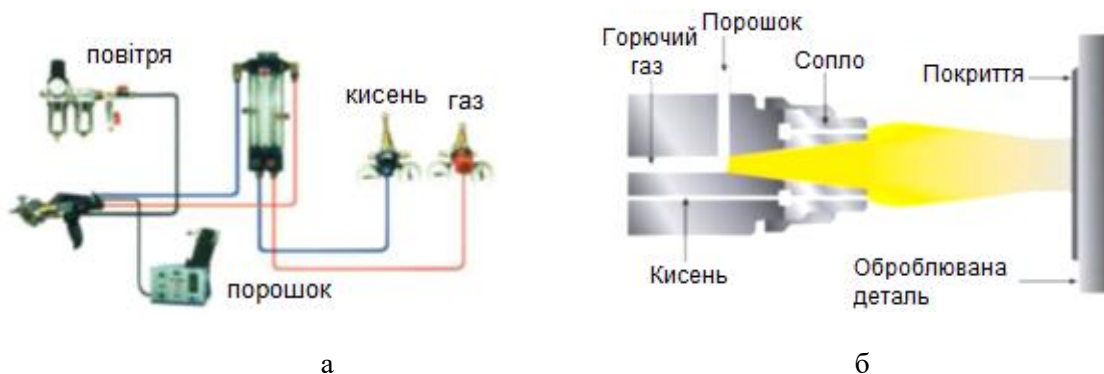


Рис. 1. Схема нанесення покриття з порошкових матеріалів газоплазмовим методом: а – подача порошку та газу; б – власне наплення [7]

Оплавлення шару здійснювали за умов прискореного газоплазмового поверхневого нагріву з порівняно повільним охолодженням. У таких умовах очікується деяке наближення структури до рівноважної. У вихідному порошку й особливо в шарі після наплення структури утворюються в нерівноважних умовах [12; 13].

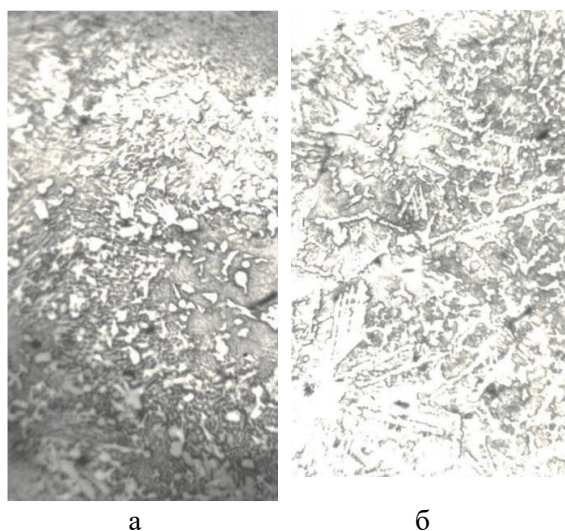


Рис. 2. Структура порошків для наплення покриттів ПГ-СР4

Рентгенографічно у вихідному порошку реєструється багатофазна структура. Найбільш повно представлені лінії твердого розчину на основі нікелю та карбідної фази типу  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  (рис. 3, а). Але багато ліній не піддаються однозначній ідентифікації.

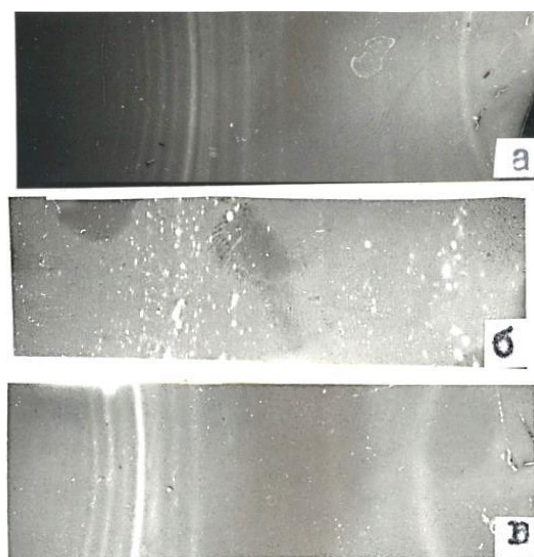


Рис. 3. Рентгенограми сплавів ПГ-СР4: а – порошок ПГ-СР4,  $\lambda\text{Cr}$ ; б – неоплавлений шар; в – оплавлений шар

Можна знайти збіг з основними лініями боридів хрому та нікелю, силіцидів хрому. Рентгенограма оплавленого шару (рис. 3, б) досить повно збігається із рентгенограмою порошку. На рентгенограмі неоплавленого шару (рис. 3, в) зберігаються лінії карбідів хрому та найсильніші лінії інших фаз. Збереження ліній фаз у напиленому шарі без оплавлення та шарі після гарту свідчить про те, що ці фази утворюються під час первинної кристалізації. Це підтверджує металографія вихідного порошку та вихідного шару. У структурі порошку видно кристали, а також дисперсну суміш фаз між ними (рис. 2, а, б).

Схожа структура в оплавленого шару (рис. 4): складники однорідно розподілені в його обсязі. Електронно-мікроскопічні дослідження показують, що в зоні грубих сумішей спостерігаються орієнтовані ділянки, у зоні дрібних сумішей – неорієнтовані, менш дисперсні. Можна припустити, що фаза, яка реструється як округлих частинок, є карбідом хрому. Частинки зберігаються в процесі нагрівання шару під загартування (рис. 4, г). Виміри мікротвердості це підтверджують.

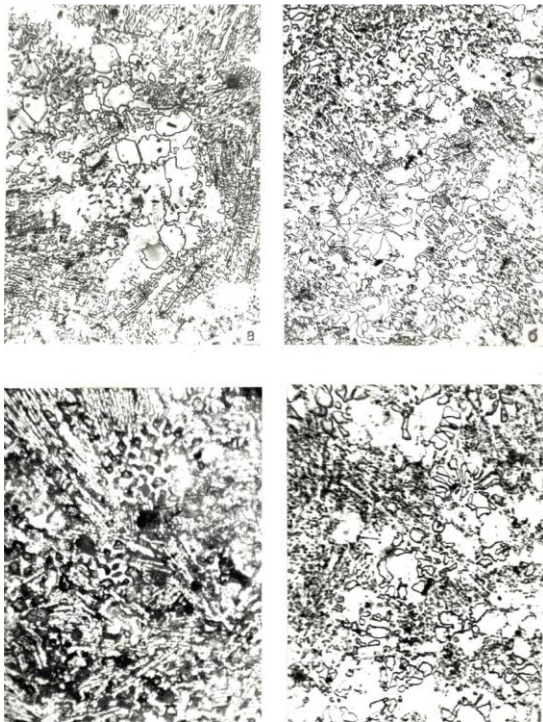


Рис. 4. Структура оплавленого шару ПГ-СР4: а, б – грубі та тонкі суміші; в – структура після травлення; г – структура після об'ємного загартування

Багатофазність шару, виявлена рентгеновським аналізом, підтверджується мікроскопічними дослідженнями.

Аналогічний фазовий і структурний склад має покриття з ПГ-СР3, відмінною особливістю шару є менша кількість грубої суміші фаз, що пов'язано зі зміною вмісту в сплаві вуглецю.

Оплавлення шарів призводить до часткового розплавлення металу основи та активізації процесів дифузії в нагрітій до високої температури приграничній зоні. Це викликає змішування матеріалу основи з матеріалом шару та утворення нового сплаву, відмінного за структурою від основи та шару.

Після напилення металами ПГ-СР у структурі основного металу в приграничних ділянках змін немає, оскільки незначним є сумарне нагрівання основного металу, взаємодія його з частинками покриття дуже слабка (рис. 5).

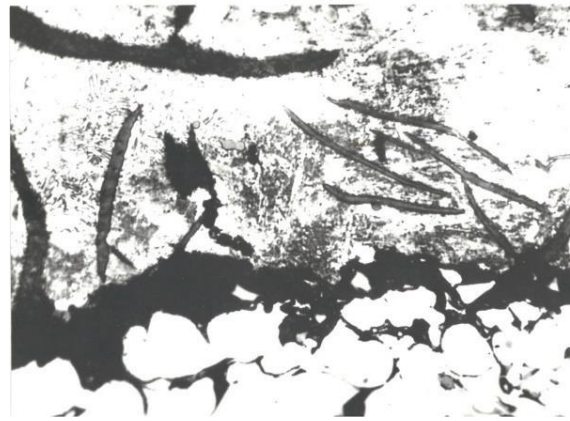


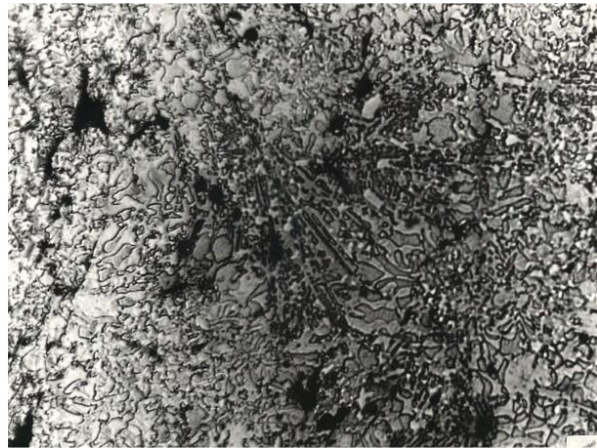
Рис. 5. Структура межі підкладки (сірий чавун) та шару з неоплавленим покриттям ПГ-СР4

У разі оплавлення отриманих покриттів спостерігаються значні зміни структури чавуну на межі з шаром і шарі на межі з чавуном унаслідок інтенсифікації дифузійних процесів. На межі шару відбувається збільшення кількості грубої суміші фаз (рис. 6), що можна пояснити дифузиею вуглецю та заліза з чавуну в шар ПГ-СР4 та ПГ-СР3. На межі з нерозплавленим металом утворюється тонкий прошарок однофазного сплаву. У чавуні на межі утворюється прошарок із збільшеним вмістом фериту, що може бути наслідком дифузії в основу нікелю, що сприяє графітізації.

Зазначені структурні особливості покриттів із сплавів ПГ-СР та зміни в структурі в процесі подальших оброблень позначаються на змінах макро- та мікротвердості (рис. 7 та табл. 1).

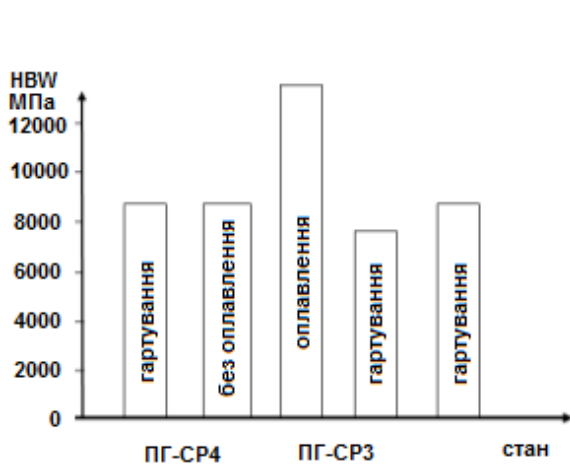


а

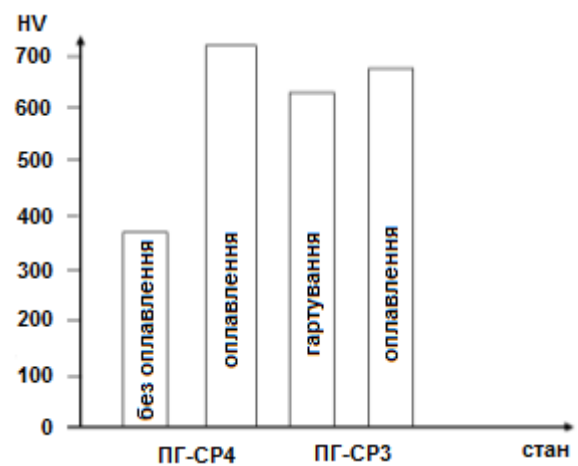


б

Рис. 6. Структура оплавленого шару покриття ПГ-СР4: а – грубі суміші; б – тонкі суміші



а



б

Рис. 7. Твердість покриттів із порошків ПГ-СР: а – мікротвердість; б – твердість за Брінеллем

У досліджених деталях циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння найбільшу макро- та мікротвердість мають оплавлені шари, визначаються найповнішим набором зміцнювальних фаз. Найменша мікротвердість у шарі після об'ємного загартування внаслідок розчинення за умови нагрівання під загартування значної кількості зміцнювальних фаз і помітної коагуляції фаз, що збереглися. Висока середня мікротвердість неоплавленого шару, очевидно, пов'язана з особливістю надшвидкісної кристалізації частинок під час наплення, що призводить до утворення наддрібного зерна частинок. Зміцнювальна дія дрібного зерна, імовірно, компенсує зниження мікротвердості за рахунок зміни фазового складу, що відзначається рентгенографічно.

Доказ цього можна визначити в поєднанні з вимірюваннями мікротвердості вихідного порошку й частинок шару. Мікротвердість вихідного порошку характеризується широким інтервалом значень: 5700...8900 МПа, що пов'язано як зі

структурним станом частинок, так і з можливим розходженням складу. Меншу твердість (5700 ... 8250 МПа) мають частинки з меншою кількістю виявлених зміцнювальних фаз (див. рис. 1, а), більшою (7600 ... 8600 МПа) – зі структурою, зображеною на рис.1, б.

У напиленому неоплавленому шарі деталей поршневих кілець нерозплавлені частинки практично зберігають свою твердість (5700 ... 8250 МПа), розплавлені частинки мають меншу відмінність значень мікротвердості та ще більш високий середній рівень, приблизно 7300 ... 8500 МПа. Знижена макротвердість неоплавленого шару обумовлена його високою пористістю. Нижча твердість оплавленого покриття ПГ-СР3 (HV = 700 ... 760), порівняно з ПГ-СР 4 (HV = 760 ... 820), також пов'язана здебільшого зі зменшенням кількості зміцнювальних фаз.

Отже, аналіз зміни структури та властивостей покриттів з порошків ПГ-СР після напилення та оплавлення показав, що найкращі властивості повинні мати оплавлені покриття.

Подальше термічне оброблення, пов'язане з тривалим високотемпературним нагріванням, не бажане, оскільки погіршує структуру й властивості покриття. Покриття доцільно наносити на деталь після остаточного оброблення.

Можливість застосування покриття ПГ-СР4 для підвищення зносостійкості чавуну було перевірено в промислових умовах. Після шліфування глибина шару становила 1200 мкм, шорсткість поверхні Ra – не більше ніж 2,5 мкм.

У досліджуваних умовах експлуатації поршневі кільця виходять з ладу після місяця роботи внаслідок інтенсивного і дуже нерівномірного зношування зовнішньої поверхні. Напilenі кільця було знято для контролю після трьох місяців експлуатації. Поверхня втулки після експлуатації набула вигляду полірованого виробу (Ra не більше ніж 0,32 мікрон) без будь-яких локальних порушень поверхні.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що покриття виробів порошками ПГ-СР (сплавами системи Ni-Cr-Si-B) є надійним методом підвищення зносостійкості деталей, що працюють в умовах абразивного зношування разом із корозійним впливом середовища. Поршневі кільця з розробленими покриттями були встановлені на парних блоках циліндро-поршневої групи 10-циліндрового двигуна тепловоза для проходження експлуатаційних випробувань. На непарних блоках було встановлено серійні кільця з хромовим покриттям. Після 100 000 км пробігу (що відповідає 4000 год роботи) комплекти з чотирьох кілець із блоків 4, 8 та 7 зняли з тепловоза для комплексних досліджень. Аналіз даних свідчить, що кільця з розробленим покриттям менше зношуються й менше зношують гільзу, ніж серійні кільця з твердим і пористим хромовим покриттям.

### Висновки

1. Проведені дослідження порошкових матеріалів із порошків ПГ-СР3, ПГ-СР4 на основі нікеля, нанесених на робочі поверхні поршневих кілець газотермічним напиленням.

2. Аналіз зміни структури та властивостей покриттів із порошків ПГ-СР показав, що найкращі властивості повинні мати оплавлені покриття.

3. Для покриттів із порошків ПГ-СР термічне оброблення не бажане, оскільки погіршує структуру та властивості покриття.

4. Покриття виробів порошками ПГ-СР (сплавами системи Ni-Cr-Si-B) є надійним методом підвищення зносостійкості деталей, що працюють в умовах абразивного зношування разом із корозійним впливом середовища.

5. Отримані результати запроваджено на ДП «Завод ім. Малишева» для деталей циліндро-поршневої групи.

### Література

1. C. Navas, R. Colaço, J. de Damborenea, R. Vilar. Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings. *Surface & Coatings Technology*, 2016. 200(24). P. 6854–6862.
2. Chapman B. N. Thin-Film adhesion. *Vac. Sci. Technol.*, 1974. 11(1). P. 106–110.
3. ГОСТ 21448-75 Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия (с изменениями № 1, 2, 3). Постановление Госстандарта СССР от 31.12.1975 № 4113ГОСТ от 31.12.1975 № 21448-75.
4. <http://www.plasmacentre.ru/produkcziya/poroshki-provoloka-elektrodyi/pgsr4/>
5. Кудинов В. В., Иванов В. М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. Москва: Машиностроение, 2011. 217 с.
6. Никитин Н. Д., Кулик А. Я., Захаров Н. И. Теплозащитные и износостойкие покрытия. Ленинград: Машиностроение, 1999. 198 с.
7. Zenz E., Pnueli D., Rozeann Z. The effect of a thin coating of insulation material on the performance of cutting tools. *Vac. Sci. Technol.* 2013. 53. P. 337–344.
8. Перспективы упрочнения покрытий методом плазменного напиления с одновременной электромеханической обработкой / А. М. Кадырметов и др. *Станочный парк*. 2012. 8 (86). С. 23–25.
9. Duolley R. H. A Survey of Vacuum Deposition Technology. *SC and Solid State Technology*. 1999. 10(12). P. 39–44.
10. Bolshakov V., Glushkova D. Investigation of peculiarities of piston rings laser borating. *Вестник ПГАСА*. 2015. 11. С. 27–31.
11. <http://irobs.ru/gazoplazmennoe-napyilenie>.
12. M. Nastasi on implantation and thin – film deposition. Handbook of plasma immersion, ion implantation and deposition. W. Moiler, W. Enssinger; Edited by A. Anders. N. Y. USA, 2000. 736 p.
13. Kitahara Sh., Y Gap. Some contributions on adhesive mechanism and composition of boundary between sprayed coating and substrate. *Weld Soc.* 2003. 42(2). P. 91–99.

### References

1. C. Navas, R. Colaço, J. de Damborenea, R. Vilar. (2016). Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings. *Surface & Coatings Technology*, 200(24), 6854–6862.

2. Chapman B. N. Thin-Film adhesion. *V. Vac. Sci. Technol.*, 11(1), 106–110.
3. GOST 21448-75 Poroshki iz splavov dlya naplavki. Tekhnicheskiye usloviya (s izmeneniyami No 1, 2, 3) Postanovleniye Gosstandarta SSSR ot 31.12.1975 No 4113GOST ot 31.12.1975 No 21448-75. [GOST 21448-75 Powders from alloys for surfacing. Specifications (with Amendments No 1, 2, 3) Decree of the USSR State Standard of December 31, 1975 No 4113 GOST of December 31, 1975 No 21448-75] [in Russian].
4. <http://www.plasmacentre.ru/produkcziya/poroshki-provoloka-elektrodi/pgsr4/>
5. Kudinov V. V., Ivanov V. M. (2011). *Naneseniye plazmoy tugoplavkikh pokrytiy [Plasma deposition of refractory coatings]* Moskva: Mashinostroyeniye [in Russian].
6. Nikitin N. D., Kulik A. Ya., Zakharov N. I. (1999). Teplozashchitnyye i iznosostoykiye pokrytiya [Heat-shielding and wear-resistant coatings]. Leningrad: Mashinostroyeniye [in Russian].
7. Zenz E., Pnueli D., Rozeann Z. (2013) The effect of a thin coating of insulation material on the performance of cutting tools. *V. Vac. Sci. Technol.*, 53, 337–344.
8. Kadyrmetov A. M., Nikonov V. O., Bukhtoyarov V. N. i dr. (2012). Perspektivy uprochneniya pokrytiy metodom plazmennogo napyleniya s odnovennoy elektromekhanicheskoy obrabotkoy [Prospects for hardening coatings by plasma spraying with simultaneous electromechanical processing]. Stanochnyy park [Machine park], 8 (86), 23–25.
9. Duolley R. H. (1999). A Survey of Vacuum Deposition Technology. *SC Pand Solid State Technology*, 10(12), 39–44.
10. Bolshakov V., Glushkova D. (2015). Investigation of peculiarities of piston rings laser borating. *Vestnik PGASA [Bulletin PGASA]*, 11, 27–31.
11. <http://irops.ru/gazoplazmennoe-napylenie>.
12. M. Nastasi yon implantation and thin – film deposition. Handbook of plasma immersion, ion implantation and deposition. (2000). W. Moiler, W. Ensinger; Edited by A. Anders. N. Y.: USA.
13. Kitahara Sh., Y Gap. (2003). Some contributions on adhesive mechanism and composition of boundary between sprayed coating and substrate. *WeldSoc.*, 42(2), 91–99.

**Глушкова Діана Борисівна**<sup>1</sup>, д.т.н., проф., завідувач кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 057-707-37-29, e-mail: diana@khadi.kharkov.ua, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

**Багров Валерій Анатолійович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел.: 057-707-37-29, e-mail: havetabanca@ukr.net, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

**Демченко Сергій Володимирович**<sup>1</sup>, інженер науково-дослідної частини, тел.: 067-577-98-70, e-mail: dsvpochta@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

**Волчук Володимир Миколайович**<sup>2</sup>, д.т.н., завідувач кафедри матеріалознавства і обробки матеріалів, тел.: +38 (056)-745-23-72,

e-mail: volchuky@gmail.com, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24 а, Дніпро, 49600, Україна,

**Калінін Олександр Васильович**<sup>2</sup>, к.т.н., науковий співробітник, тел.: +38(066)305-64-51, e-mail: kalinin.duep@gmail.com, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24 а, Дніпро, 49600, Україна,

**Калініна Наталія Євграфівна**<sup>3</sup>, д.т.н., професор кафедри технології виробництва, тел.: (+38) 095-550-28-00,

e-mail: kalinina.dnu@gmail.com, Дніпровський Національний університет ім. Олеся Гончара, вул. Наукова 1, Дніпро, 49000, Україна.

### Structure and properties of powder gas-plasma coatings based on nickel

**Annotation. Problem.** The development of modern technology requires a constant increase in reliability and durability of products. Widely used in the practice of domestic and foreign engineering coatings from electrolytic chromium for several hundred hours are triggered, they are unsatisfactorily working on friction and wear at high temperatures. The subject of the study were powder materials based on nickel PG-SR 3 and PG-SR 4. The work is devoted to the study of the formation of gas-plasma coatings on parts of the cylinder-piston group of internal combustion engines using self-fluxing powders based on nickel, as well as the structure and properties change after coating sputtering, its reflow, subsequent hardening. **Goal.** The purpose of this work is to study powder materials applied to the working surfaces of piston rings by gas-thermal spraying. The object of the study are processes of formation of the structure and properties of coatings from powder materials. **Methodology.** Plasma sputtering modes were carried out with the following constant parameters: sample rotation speed - 45 rpm, linear speed of sample movement relative to the plasma jet - 18.4 m/min; the diameter of the charge line in the anode nozzle is 2 mm; the distance from the place of introduction of the powder to the cut of the nozzle is 4 mm; the axis of the plasma jet is perpendicular to the axis of rotation of the sample. Radiographically, a multiphase structure is registered in the initial powder. The most fully solid solution lines based on nickel and carbide phase Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> type are presented. But many lines cannot be clearly identified. A match can be found with the main lines of chromium and nickel

borides, chromium silicides. The X-ray pattern of the fused layer quite completely coincides with the X-ray pattern of the powder. Chromium carbide lines and the strongest lines of other phases are preserved on the radiograph of the not melted layer. Preservation of phase lines in the deposited layer without reflow and the layer after quenching indicates that these phases are formed during primary crystallization. This is confirmed by the metallography of the original powder and the original layer. In the structure of the powder, crystals are visible, as well as a dispersed mixture of phases between them. Electron microscopic studies show that in the area of coarse mixtures, oriented areas are observed, in the area of fine mixtures – non-oriented, less dispersed. **Results.** The presence in the deposited layer of a solid solution based on nickel, carbide phase, borides of chromium and nickel, chromium silicides is established. The fused layers containing the greatest number of strengthening phases have the greatest macro- and microhardness. **Originality.** Gas-thermal sputtering of powder materials applied to the working surfaces of piston rings is used, which significantly increases their operational properties in comparison with other methods. **Practical value.** The conducted research and industrial tests allowed to introduce the coating into production. **Conclusions.** As a result of the conducted research on surfacing and heat treatment of coatings made of PG-SR powders, it was confirmed that fused coatings have the best properties. For coatings made of PG-SR powders, heat treatment is undesirable, as it deteriorates the structure and properties of the coating.

**Key words:** powders, coatings, gas-plasma spraying.

**Hlushkova Diana**<sup>1</sup>, Doct. Sc. (Tech.), Head of the Department of Technology of Metals and Materials Science, Phone: 057-707-37-29,

e-mail: diana@khadi.kharkov.ua, Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine,

**Bagrov Valeriy**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology of Metals and Materials Science, Phone: 057-707-37-29,

e-mail: havetabanca@ukr.net, Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine,

**Demchenko Sergey**<sup>1</sup>, an engineer of the research department, Phone: 067- 577-98-70,

e-mail: dsvpochta@gmail.com, Kharkov National Automobile and Highway University, Str. Yaroslava Mudrogo, 25, Kharkov, 61002, Ukraine,

**Volchuk Volodymyr**<sup>2</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Head of the Department of Materials Science and Materials Processing, Phone: +38 (056)-745-23-72,

e-mail: volchuky@gmail.com, State Higher Educational Institution Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24 a Chernishevsky St., 49600, Dnipro, Ukraine,

**Kalinin Aleksandr**<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Researcher, Phone: +38 (066) 305-64-51,

e-mail: kalinin.duep@gmail.com, State Higher Educational Institution Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24 a Chernishevsky St., 49600, Dnipro, Ukraine,

**Kalinina Nataliya**<sup>3</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production Technology, tel. (+38) 095-550-28-00,

e-mail: kalinina.dnu@gmail.com, Oles Honchar National University, vul. Naukova 1, Dnipro, 49000, Ukraine.