

М. В. Митко¹
О. П. Шиліна¹
С. А. Бурлака²

СУЧАСНІ МЕТОДИ ГАЗОТЕРМІЧНОГО ПОКРИТТЯ В ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ДЛЯ РЕМОНТУ ВІДНОВЛЕННЯМ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Вінницький національний аграрний університет

В епоху технологічного прогресу, коли технології розвиваються стрімкими темпами, особливої уваги заслуговує сучасний підхід до ремонту деталей автомобілів. Завдяки інноваційним матеріалам та методам відновлення деталей, власники автомобілів можуть значно продовжити термін служби своїх транспортних засобів. Це не лише підвищує надійність автомобілів, а й дозволяє зекономити на постійних ремонтах. До того ж, з використанням сучасних технологій процес ремонту відновленням деталей стає ефективнішим, що економить час і кошти.

Тому аналіз використання сучасних методів газотермічного покриття в інноваційних технологіях для відновлення деталей автомобілів, за використання різних способів газотермічного напилення під час ремонту деталей автомобілів та їхніх агрегатів, а також забезпечення гарантії для післяремонтного ресурсу є актуальним.

Для підвищення ефективності та надійності відновлення деталей автомобілів розглянуто сучасні методи газотермічного покриття в інноваційних технологіях відновлення деталей автомобілів, які доцільно використовувати в Україні, та деякі розповсюдженні способи покриттів для напилення деталей автомобілів.

Як вихідні матеріали використовуються дроти або порошки. Матеріал може містити один елемент, але частіше використовуються сплави або композиції з необхідним комплексом властивостей, що забезпечують працездатність деталі або вузла в заданих умовах експлуатації, і міцність зчеплення з основним матеріалом.

Основними факторами, умовами і параметрами газотермічного нанесення є: склад, дисперсність, температура і швидкість частинок, концентрація частинок в газовому потоці, дистанція напилення, склад і властивості газового середовища, що переносить частинки, середовище в якій наноситься покриття (склад, тиск, температура), матеріал та стан поверхні підкладки (шорсткість, хімічна чистота).

Таким чином, інновації у сфері нанесення покриттів у разі відновлення деталей автомобільних транспортних засобів продовжують трансформувати галузь, дозволяючи збільшити ефективність і довговічність технічних компонентів, зменшити витрати на капітальний та поточний ремонт, а також зменшити вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: відновлення деталей, високошвидкісне напилення, газодинамічне напилення, газополум'яне напилення, газотермічне покриття, матеріали, технології, ремонт автомобілів.

Вступ

Нові технології газотермічного покриття відкривають широкі можливості для застосування їх у різних сферах промисловості, включно з аерокосмічною, автомобільною, охороною здоров'я, енергетикою тощо. Сьогодні вони широко використовуються в галузі автомобільного транспорту, а саме у технологіях відновлення та ремонті автомобільних транспортних засобів та деталей його механізмів і систем автомобіля, зокрема в ремонті двигуна, ходової частини та кузовів автомобіля [1], [2]. Технології ремонту автомобілів потребують удосконалених методів та способів відновлення, застосування і використання сучасних світових брендів газотермічного напилювання, з сучасними технологіями їхнього застосування.

Під час виробництва різних транспортних засобів конструктори враховують їхній ресурс на використання, а також і ресурс на ремонт великогабаритних деталей та вузлів, механізмів. Ремонтопридатні деталі на сьогоднішній день потребують сучасних підходів, які використовують в процесі ремонту.

Сучасний ремонт — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення ремонтопридатності або працездатності вибору і ресурсів виробу або його компонентів.

Сам ремонт поділяється на такі види, як поточний ремонт та капітальний ремонт. Поточний ремонт (ПР) — це ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності виробу, який полягає в заміні або відновленні окремих деталей (він може бути виконаний за запитом або на підставі результатів діагностики сукупними, знеособленими та іншими засобами). Під час поточного ремонту агрегатів автомобіля несправності усувають шляхом заміни або ремонту їхніх окремих деталей і агрегатних вузлів, за винятком основних.

До основних деталей відносяться: блок циліндрів двигуна; картер коробки передач, задній міст, рульовий механізм; балка переднього моста; поздовжні балки (лонжерони) рами; металевий каркас кузова або кабіни. Своєчасне проведення поточного ремонту дозволяє уникнути капітального ремонту і збільшити міжремонтний пробіг автомобіля (термін служби агрегата). Поточний ремонт повинен забезпечити безперебійну роботу автомобіля до ТО-2.

Щоб скоротити час простою автомобіля на період поточного ремонту, його варто проводити агрегатним методом, коли несправні вузли або агрегати, що потребують капітального ремонту, замінюються на ремонтопридатні, взяті з оборотного фонду [3], [4].

Капітальний ремонт (КР) — це ремонт, що виконується з метою відновлення ремонтопридатності та повного продовження терміну служби автомобіля шляхом заміни або ремонту будь-якої деталі, включно з базовою. Ресурс автомобіля і його деталей після капітального ремонту повинен становити не менше ніж 80 % ресурсу нового автомобіля. Зазвичай автомобіль підлягає одному капітальному ремонту.

В Україні не всі мають можливість купувати нові автомобілі. Згідно зі статистичними даними [5] середній вік автомобілів в Україні становить 22,4 роки, а у Європейському Союзі — 8 років. У США, цей вік автомобілів може сягати до 11 років, тому нам цікаво розглянути, які існують сьогодні інновації сучасних методів та способів для відновлення деталей автомобілів.

Існують методи капітального ремонту, такі як індивідуальний і агрегатний. У разі застосування індивідуальних методів пошкоджений вузол знімається з автомобіля, ремонтується і встановлюється в тому ж автомобілі, який простоє протягом всього часу ремонту. Цей метод використовується нечасто. Суть агрегатного методу полягає в тому, що несправний агрегат знімається з автомобіля, а на його місце встановлюється відремонтований або новий агрегат, взятий з оборотного фонду. Зняті з автомобіля агрегати, що потребують капітального ремонту, відправляються на авторемонтні заводи, а агрегати, які потребують поточного ремонту, ремонтують у майстернях АТП. Використання цього методу дозволяє значно скоротити час простою автомобіля під час ремонту, підвищити коефіцієнт технічної готовності і підвищити ефективність використання автомобільного парку. Ремонт проводиться на універсальних або спеціалізованих постах. На універсальних постах здійснюються всі роботи з ремонту одного чи кількох агрегатів, вузлів або систем автомобіля.

Основне завдання ремонтного підприємства — це зниження собівартості ремонту автомобілів і агрегатів із забезпеченням гарантії післяремонтного ресурсу [6], [7].

Метою роботи є аналіз використання сучасних методів газотермічного покриття в інноваційних технологіях для відновлення деталей автомобілів, за використання різних способів газотермічного напилення під час ремонту деталей автомобілів та їхніх агрегатів, а також забезпечення гарантії для післяремонтного ресурсу.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

Дослідження показали, що в середньому близько 20 % деталей є невідновлюваними, 25...40 % — придатні, а решта 40...55 % можуть бути відновлюваними.

Технологія відновлення є достатньо ресурсоощадною, оскільки затрати на відновлення зношених деталей є нижчими на 70 % у порівнянні з витратами на виготовлення нових деталей. Основним фактором ресурсозбереження є витрати на матеріали. Середня вартість матеріалів для виготовлення нових деталей становить 38 %, а під час ремонту відновленням — це 6,6 % від загальної собівартості. Для відновлення працездатності зношених деталей потрібно в 5...8 разів менше технологічних

операцій у порівнянні з виготовленням нових деталей.

Незважаючи на рентабельність, трудомісткість відновлення деталей висока, і в великих ремонтних підприємствах вона у середньому в 1,7 разів перевищує трудомісткість виготовлення однієї деталі.

Дрібносерійне виробництво, використання універсального обладнання, часта заміна і невеликі партії замінних деталей ускладнюють процес налаштування технологій відновлення зі значним збільшенням трудомісткості окремих операцій.

Основна кількість відмов деталей автомобілів спричинена зносом робочих поверхонь — до 50 %, 17,1 % — це ушкодження і 7,8 % — це тріщини. Чільне місце серед технологічних відмов автомобілів належить двигуну — на це припадає до 43 % відмов.

Залежно від характеру дефектів, що підлягають усуненню, всі способи відновлення деталей поділяються на три основні групи: відновлення деталей зі зношеними поверхнями, механічними ушкодженнями й з ушкодженнями антикорозійного покриття.

Частка відновлюваних зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь становить 53,3 %, різьбових — 12,7 %, шліцьових — 10,4 %, зубчастих — 10,2 %, плоских — 6,5 %, інших — 6,9 %.

Для забезпечення можливості цілеспрямованого вибору оптимального способу відновлення розроблено низку критеріїв. Рекомендовані три такі критерії [5]:

– критерій технологічного застосування, який враховує реальність виконання техпроцесу відновлення цим способом. За допомогою цього критерію відбирають усі способи, які можуть бути застосовані;

– критерій довговічності K_D , який дозволяє оцінити спосіб відновлення з погляду відносної величини ресурсу деталі після її відновлення;

$$K_D = \frac{P_B}{P_H}, \quad (1)$$

де P_B , P_H — ресурс (довговічність) деталі відповідно після відновлення та нової деталі.

Рекомендоване значення K_D для деталі, відновлюваної вперше, має становити не менше 0,8.

Сучасні засоби інновацій дозволяють розглянути серії попередніх наукових досліджень, які матеріали використовують для покриттів в машинобудівній галузі під час ремонтного виробництва автотранспортних засобів.

Близько 80 % деталей галузі автомобільно-ремонтного виробництва та машинобудування мають металеві, керамічні, полімерні та композиційні покриття для захисту від корозійного впливу, спрацювання (зносу) і високотемпературного окислення, а також спеціальних цілей (ущільнень, створення термічних бар'єрів, які потребують оптичних характеристик, декоративних властивостей і. таке ін.), що показано на рис. 1.

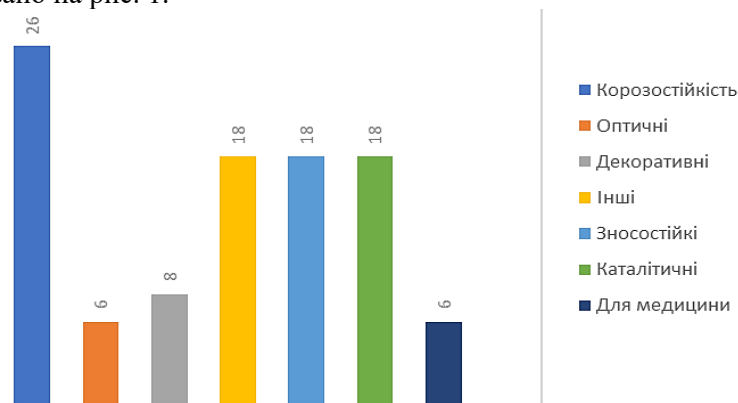


Рис. 1. Відсоткове значення застосування покриттів різного призначення в галузі автомобільно-ремонтного виробництва та машинобудування

До виробів під час автомобільно-ремонтного виробництва та машинобудування найширше застосовуються покриття, які наносяться за технологіями газотермічного напылення, хімічного та електрохімічного, фізичного (англ. Physical Vapour Deposition — PVD) та термохімічного (англ. Chemical Vapor Deposition — CVD) осадження та ін.

Варто зазначити, що технології для нанесення покриттів, які найінтенсивніше розвиваються, це

газотермічне напилення, PVD і CVD, лазерне наплавлення. Тому доцільно розглянути ці технології, де при цьому також знижується застосування екологічно небезпечних процесів, зокрема як для хімічного, так і гальванічного осадження. Свій розвиток отримують, також процеси нанесення полімерних, композиційних та багатошарових покриттів, такі як: електрофорез, електростатичне напилення, занурення, відцентровий метод тощо, які дозволяють формувати полімерні та твердо-змащувальні покриття на деталях різного призначення.

В табл. 1 подані порівняльні характеристики покриттів, які отримуються деякими розповсюдженими способами.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики покриттів, що отримуються деякими розповсюдженими способами

| № | Способи нанесення покриттів | Товщина (пористість %) [продуктивність (тривалість циклу нанесення покриттів)] | Міцність зчеплення з основою | Сфера застосування |
|---|-----------------------------|--|------------------------------|---|
| 1 | Гальванічний | Рекомендується 5...50 мкм (1...10 %), [10...40 хв] | 30 | Захист від зносу корозії, відновлення зношених деталей. Металеві та композиційні покриття |
| 2 | Газотермічний | Необмежена. Не менше 100 мкм (10...50 %). [0,1...0,4 кг/хв] | 10...40 | Нанесення металевих, керамічних і композиційного покриття, відновлення зношених деталей |
| 3 | Іонно-плазмовий (PVD) | 1...100 мкм (0,1...5 %). [40...70 хв] | 60 | Захист від спрацювання деталей і різального інструменту. Нанесення жаростійких і термобар'єрних покриттів |
| 4 | Термохімічний (CVD) | 1...150 мкм (0,1...1 %). [1...5 год] | 80...100 | Захист від спрацювання деталей і різального інструменту. Підвищення жаростійкості. Покриття з тугоплавких металів, кераміки, алмазного покриття |
| 5 | Лазерне наплавлення | Необмежена. Не менше 40 мкм (1...10 %). [0,1...0,4 кг/хв] | 80...100 | Захист деталей від зносу, корозії. Підвищення жаростійкості. Відновлення спрацьованих деталей |

Примітки: 1 — значення пористості вказані в %; 2 — значення міцності зчеплення із підкладкою приведені в % від міцності матеріалу покриття або підкладкою.

Вибір матеріалу покриття виконується з урахуванням:

- умов експлуатації деталі або вузла (температури, умов контакту з'єднання, середовище тощо);
- хімічної та металургійної сумісності матеріалів покриття та підкладки, які визначають міцність зчеплення та відсутність електрохімічної взаємодії;
- можливості нанесення покриття на певний матеріал вибраним способом із забезпеченням рівномірності товщини, необхідної структури та необхідного комплексу властивостей;
- фізико-механічної сумісності, тобто це близькості фізичних та механічних властивостей матеріалів покриття та підкладки, зокрема, модулів пружності, твердості, коефіцієнта термічного розширення.

Характерною особливістю покриття є наявність вираженої межі між матеріалом, який наноситься, і підкладкою. На цій межі, внаслідок відмінності в модулях пружності матеріалу деталі та матеріалу покриття, під дією зовнішніх навантажень або наявності залишкових напружень, виникають дотичні зсувні напруження τ_E , величина яких, за розміру деталі значно більшою за товщину покриття, може бути визначена зі співвідношення

$$\tau_E = \varepsilon \left[\frac{E_1}{1 - \mu_1} - \frac{E_2}{1 - \mu_2} \right], \quad (2)$$

де ε — величина відносної деформації; E_1 , E_2 — модулі пружності матеріалів покриття та підкладки відповідно; μ_1 , μ_2 — коефіцієнти Пуассона матеріалів покриття та підкладки.

З цього виразу випливає, що величина напруження E тим вища, чим більша різниця в пружних характеристиках матеріалів деталі та покриття.

За винятком перелічених факторів, величина цих напружень залежить від величини зміни температури та відмінності у коефіцієнтах термічного розширення матеріалів покриття та деталі. У разі нагрівання деталі з покриттям на їхній границі виникають дотичні напруження τ_T , що є нас-

лідком відмінності в коефіцієнтах термічного розширення.

$$\tau_T = \Delta T \left[a_1 \frac{E_1}{1 - \mu_1} - a_2 \frac{E_2}{1 - \mu_2} \right], \quad (3)$$

ΔT — зміна температури; a_1, a_2 — коефіцієнти термічного розширення матеріалів покриття та деталі відповідно.

Наявність дотичних напружень є однією з основних причин відшарування покриття від підкладки у процесі експлуатації деталей.

Останніми роками інтенсивно досліджуються питання нанесення багатокомпонентних (композиційних) покриттів, що містять частинки високої твердості (карбіди, нітриди, бориди) або частинки антифрикційного матеріалу (мідь, бронзи, срібло, дисульфід молібдену, нітрид бору тощо).

Ще одним напрямом підвищення якісних характеристик покриттів є їхнє багатошарове нанесення. Застосування багатошарових покриттів пов'язане з необхідністю підвищення адгезії до матеріалу деталі, коли як підшар під основне покриття наноситься матеріал, що забезпечує хорошу адгезію з підкладкою і з матеріалом покриття. Характерним прикладом є нанесення мідного підшару під час хромування та нікелювання сталевих деталей. Іноді матеріал підшару вибирають з міркувань металургійної сумісності, так, щоб уникнути утворення на кордонах з підкладкою тендітних інтерметалевих сполук, маломіцних евтектик та ін. Доцільність застосування багатошарових покриттів впливає також з можливості отримання комплексу властивостей поверхні. Наприклад, одночасне забезпечення опору зношування та антифрикційних властивостей.

Принцип багатошаровості може бути застосований для підвищення властивостей міцності покриттів, зниження пористості, релаксації внутрішніх напружень. Шаруватістю покриття збільшують його в'язкість і опір розтріскуванню.

Принцип багатошаровості дозволяє отримувати дрібнозернисті покриття, локалізувати та заліковувати мікротріщини, формувати залишкові напруження стиску, керувати градієнтами твердості та залишкових напружень по товщині покриття, знизити теплові деформації на межі покриття з матеріалом деталі.

Одним з використовуваних способів є газотермічне напилення. Лідерами сучасної газотермічної галузі в сфері напилення покриттів є такі відомі компанії, як: Praxair Surface Technologies, TWI Ltd., TST Engineered Coating Solutions, Metallisation Ltd., Air Products & Chemicals, Flame Spray Coating Co., Oerlikon Metco, A&A Coatings, Curtis-Wright Corporation, Plasma-Tec, Inc. and White Engineering Surfaces Corporation.

Перевагами газотермічного напилення є порівняно низька вартість і висока продуктивність з високою якістю покриттів, що наносяться.

Наразі використовується безліч різних способів газотермічного напилення. Основними з яких є:

- газополум'яне напилення;
- високошвидкісне (надзвукове) газополум'яне напилення (ВГН);
- електродугове напилення;
- газодинамічне (холодне) напилення;

Типовими застосуваннями цих методів є:

- відновлення зношених деталей;
- підвищення опору абразивному зносу;
- поліпшення антифрикційних характеристик;
- збільшення жаростійкості та корозійної стійкості;
- підвищення опору корозії та ерозії;

Проаналізувавши можливості сучасних газотермічних покриттів визначено основні сфери його застосування (рис. 2).

Газополум'яне напилення дозволяє наносити покриття з різних матеріалів на деталі різної форми. Вихідними матеріалами для нанесення покриття служать порошок або дріт, що постійно подаються в полум'я пальника, звідки після розплавлення розігрітим газовим потоком переносяться на поверхню, що покривається (рис. 3).



Рис. 2. Сфери застосування газотермічного покриття

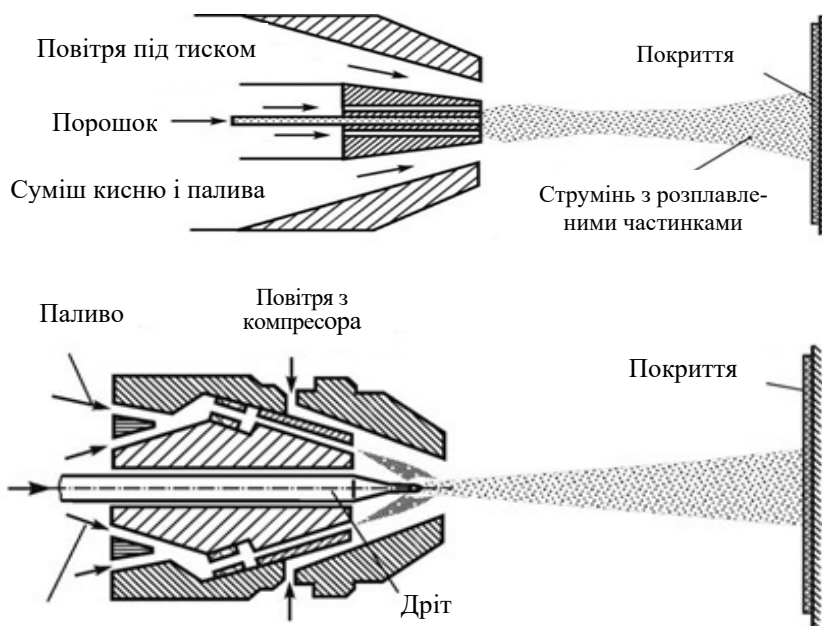


Рис. 3. Базові схеми газового напилення

Портативність та висока продуктивність методів газополум'яного напилення дозволяє наносити покриття на поверхні великих розмірів, навіть у польових умовах. Як паливо використовуються ацетилен, водень, пропан та інші горючі гази [2], [9].

Під час газополум'яного напилення використовуються порошкові та дротяні матеріали як з низькою, так і високою температурою плавлення (до 2000 °С), тобто більшість металів і деякі кераміки. Товщина покриттів може становити від 0,1 до 30 мм.

Порошкове газополум'яне напилення має певні переваги перед дротяним, оскільки дозволяє наносити ширший діапазон покриттів.

Він має такі особливості та переваги: висока економічність, великий термін служби та надійність обладнання, простота використання, порівняно низький шум, універсальність у застосуванні, широкий діапазон матеріалів, що використовуються для формування покриттів, висока продуктивність, простота автоматизації, портативність обладнання.

Головний недолік — низька міцність зчеплення покриття з підкладкою. Для підвищення міцності зчеплення покриття зазвичай наносять на попередньо очищені поверхні з високою шорсткістю (рване різьблення). Підвищення міцності зчеплення забезпечується механічним зачепленням покриття з нерівностями підкладки (анкерний ефект). Що вища шорсткість, то вища міцність зчеплення.

Оскільки одним з найважливіших факторів, що визначають якість покриттів та міцність їхнього зчеплення з підкладкою, є швидкість частинок, основну увагу варто приділити двом з перерахованих технологій: високошвидкісне (надзвукове) газополум'яне напилення ((ВГН), (High Velocity Oxygen-Fuel (HVOF)) та газодинамічне (холодне) напилення.

Для захисту від зношування та корозії ефективно використовувати карбідні композиції типу WC-10%Ni та WC-10%Co-4%Cr (рис. 4), остання композиція застосовується зокрема для захисту деталей шасі літака. Для захисту від температурного впливу доцільно використовувати композиції типу Cr₃C₂-NiCr із вмістом NiCr близько 20...25 %, сплави систем Co-NiCr-Al-Y, Ni-Co-Cr-Al-Y, Ni-Cr-Al-Y та жаростійкі сплави на нікелевій основі.

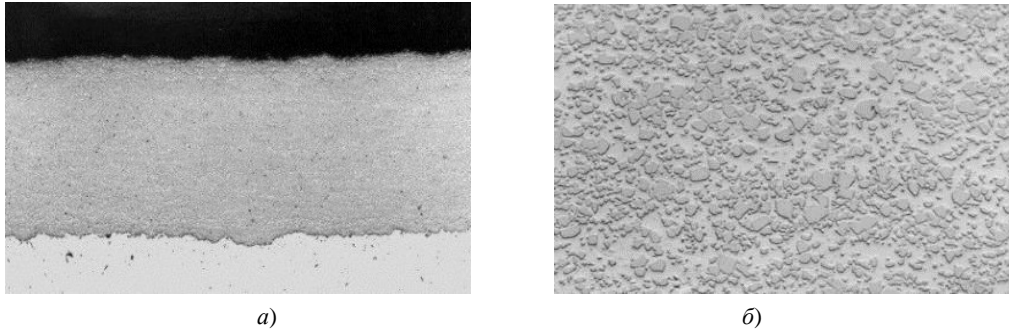


Рис. 4. Мікроструктура покриттів, отриманих способом ВГН:
а — покриття 83 % WC-17 % Co ($\times 150$); б — частинки WC у кобальтовій матриці ($\times 800$).

Різновидами HVOF (ВГН) є:

- HVOF “High-Velocity Air-Fuel” — паливо: газ — окислювач: повітря.
- HVSF “High Velocity Suspension Flame Spraying” — замість порошку в камеру або сопло подається суспензія містить порошки матеріалів для отримання дрібнодисперсних покриттів (рис. 5).

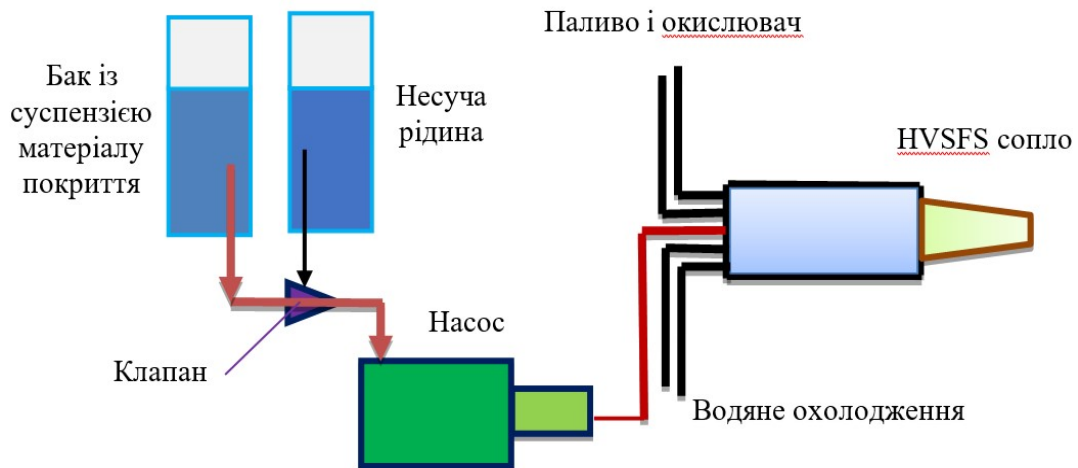


Рис. 5. Схема процесу High Velocity Suspension Flame Spraying «HVSFS»

Газодинамічне («холодне») напилення є відносно новим процесом нанесення порошкових покриттів з регульованим нагріванням напилюваних частинок. Частинки порошку прискорюються в соплі Ловалія попередньо нагрітим газом (повітрям, аргонем, азотом) до швидкості 300...1500 м/с. Взаємодіючи з поверхнею підкладки, розігріті частинки формують щільне покриття з хорошою адгезією (рис. 6). На відміну від газополум'яного, плазмового та дугового напилення окислення матеріалу, що наноситься, і підкладки практично відсутнє.

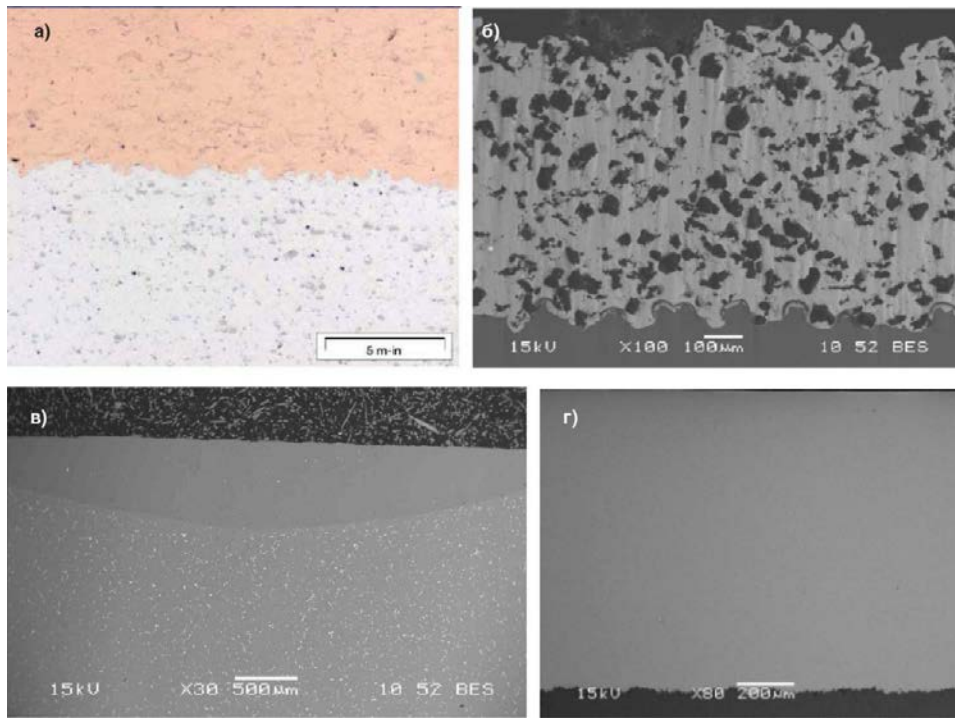


Рис. 6. Структура покриття, отриманого газотермічним напиленням:
 а — мідне покриття на алюмінії; б — мідне покриття із алмазними частинками;
 в — відновлення деталі з алюмінієвого сплаву; г — нікелеве покриття на сталі

Висновки

Інновації у сфері нанесення покриттів в процесі відновлення та ремонту автомобільних транспортних засобів продовжують трансформувати галузь, дозволяючи збільшити ефективність і довговічність технічних компонентів, зменшити витрати на капітальний та поточний ремонт, а також зменшити вплив на навколишнє середовище. Дотримуючись мінімального впливу на довкілля, технології нанесення покриттів будуть удосконалюватися, забезпечуючи стійкіші та ліпші економічні складові зі зниженням собівартості під час ремонту деталей автомобілів та їхніх агрегатів, а також забезпечувати гарантії для післяремонтного ресурсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Л. Г. Полонський, *Техніка напилення газотермічних покриттів (машинна стадія розвитку)*. Житомир, Україна: ЖДТУ, 2004, 266 с.
- [2] О. П. Шиліна, і А. Ю. Осадчук. *Газотермічні методи напилювання покриттів*, навч. посіб. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2007, 103 с.
- [3] В. Ф. Анісімов, І. В. Гунько, і С. А. Бурлака, «Шляхи розвитку методів газотермічного напилення для покращення енергоефективності ремонту машин АПК», *Вісник Хмельницького національного університету, серія: Технічні науки*, № 1 (331), с. 44-47, 2024.
- [4] *Види і методи проведення ремонту автомобіля*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mlynivmrvk.at.ua/publ/budova_ta_ekspluatacija_avtomobilja/tema_4_vidi_i_metodi_provedennja_remontu_avtomobilja/4-1-0-83.
- [5] В. П. Мурашківська, Я. В. Кужельний, В. М. Скляр, і О. С. Следнікова, «Аналіз впливу технічного стану автомобіля на рівень аварійності на дорогах», *Технічна інженерія*, № 1 (87), с. 28-37, 2021.
- [6] І. Б. Гевко, та ін. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів*, навч. посіб. Тернопіль, Україна: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021, 544 с.
- [7] Ю. Х. Савін, і М. В. Митко, «Методичні основи удосконалення структури виробничих підрозділів автотранспортних підприємств», *Вісник Національного транспортного університету*, № 1 (43), с. 159-166, 2019.
- [8] Mykola Mytko, "Methodological bases for improving the structure of production subdivisions of motor transport enterprises," *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, Всеукраїнський наук-техн. журнал, № 2 (109), с. 64-70, 2020.
- [9] В. М. Корж, В. Д. Кузнецов, Ю. С. Борисов, і К. А. Ющенко, *Нанесення покриття*, навч. посіб., К. А. Ющенко, Ред. Київ, Україна: Аристей, 2005, 204 с.
- [10] А. С. Сіньковський, *Теорія та методи напилювання*, курс лекцій. Одеський національний політехнічний університет; Одеса, Україна: Наука і техніка, 2010, 172 с. ISBN 966-8335-02-3.
- [11] M. Pareiko, M. Storozhenko, O. Umanskyi, and O. Poliarus, "Self-fluxing alloy with TiB₂ additives for the spraying wear-resistant coatings," in *11th conference for young scientists in ceramics, Programme and book of abstracts*, Novi Sad, October 21–24, 2015. Novi Sad, 2015, pp. 99.

Митко Микола Васильович — канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: mytko@vntu.edu.ua ;

Шиліна Олена Павлівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Бурлака Сергій Андрійович — д-р філософії з галузевого машинобудування, старший викладач кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК, e-mail: ipserhiy@gmail.com .

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця

M. V. Mytko¹
O. P. Shylina¹
S. A. Burlaka²

Modern Gas-Thermal Coating Methods in Innovative Technologies for the Repair by Restoration of Automotive Components

¹Vinnitsia National Technical University;

²Vinnitsia National Agrarian University

In the era of technological progress, where advancements are evolving at a rapid pace, modern approaches to automotive component repair deserve special attention. Through the use of innovative materials and restoration methods, vehicle owners can significantly extend the lifespan of their vehicles. This not only enhances the reliability of automobiles but also reduces the need for frequent repairs, leading to substantial cost savings. Moreover, with the application of modern technologies, the repair by restoration process becomes more efficient, saving both time and resources.

Therefore, analyzing the application of modern gas-thermal coating methods in innovative technologies for the restoration of automotive components, utilizing various gas-thermal spraying techniques during the repair of vehicle parts and assemblies, and ensuring warranty coverage for post-repair service life is highly relevant.

To enhance the efficiency and reliability of restoration processes, modern gas-thermal coating methods in innovative automotive component restoration technologies have been examined, with a focus on their practical application in Ukraine. Additionally, some common coating techniques for the thermal spraying of automotive parts have been analyzed. Their use enables achieving high-performance characteristics of products while minimizing environmental impact.

Wires or powders are used as raw materials. The material may consist of a single element, but more commonly, alloys or composites are employed. These materials are selected to provide the required set of properties, ensuring the functionality of the component or assembly under specified operating conditions and strong adhesion to the base material.

The primary factors, conditions, and parameters of gas-thermal spraying include the composition, dispersity, temperature, and velocity of particles; particle concentration in the gas stream; spraying distance; the composition and properties of the gas medium transporting the particles; the environment in which the coating is applied (composition, pressure, temperature); as well as the material and condition of the substrate surface (roughness, chemical cleanliness).

Thus, innovations in coating application for the restoration of automotive components continue to transform the industry, enabling increased efficiency and durability of technical parts, reducing capital and operational repair costs, and minimizing environmental impact.

Keywords: component restoration, high-velocity spraying, gas-dynamic spraying, flame spraying, gas-thermal coating, materials, technologies, automotive repair.

Mytko Mykola V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Automobiles and Transport Management, e-mail: mytko@vntu.edu.ua ;

Shylina Olena P. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Mechanical Engineering, e-mail: epshilina.tpz@gmail.com ;

Burlaka Serhii A. — PhD in Industrial Engineering, Senior Lecturer of the Chair of Mechanical Engineering and Technological Processes in the Agricultural Industry, e-mail: ipserhiy@gmail.com