

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичного заняття № 9
«Способи газотермічного нанесення покриття»
з дисципліни «Вступ до спеціальності» для студентів спеціальності
131 «Прикладна механіка»
усіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до практичного заняття № 9 «Способи газотермічного нанесення покриття» з дисципліни «Вступ до спеціальності» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл.: С.П. Бережний, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 10 с.

Укладачі: С.П. Бережний, канд. техн. наук, доц.

О.Є. Капустян, старш. викладач.

Рецензент: О.Г. Биковський, д-р техн. наук, проф.

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: С.П. Бережний

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол № 11 від 04.06.2018

Рекомендовано до видання

НМК ІФФ

Протокол № 10 від 19.06.2018

1 МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення з газотермічними методами, обладнанням та технікою нанесення покриття.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

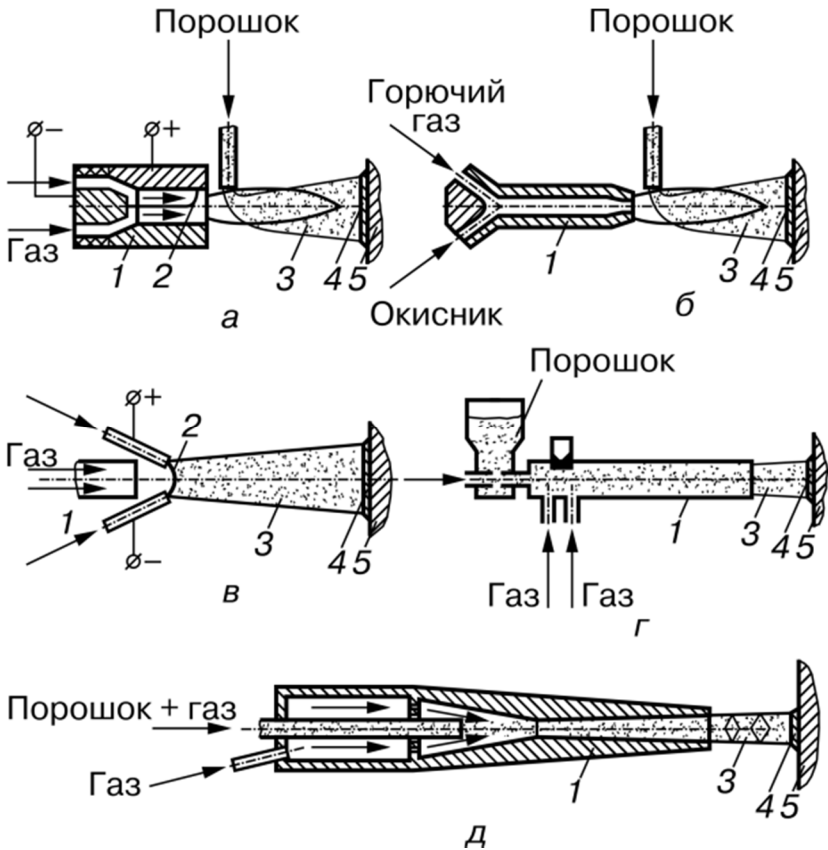
Залежно від виду використаної для створення покриттів енергії розрізняють газополуменеве, електродугове, детонаційне, плазмове та газодинамічне напилення. Ці методи розрізняються типом джерела енергії, яка витрачається на нагрівання та переміщення матеріалу, що створює покриття (рис. 2.1).

Плазмовий метод нанесення покриття (рис. 2.1 а) використовує енергію дугового або високочастотного електричних розрядів. Газ при взаємодії з розрядом сприймає частину його енергії і нагрівається до температури 5000—55 000 К, переходячи в стан низькотемпературної плазми. *Плазмовий струмінь* — це потік речовини, яка складається з електронів, іонів і нейтральних атомів плазмоутворювального газу. Частинки вихідного матеріалу, потрапляючи в плазмовий струмінь, нагріваються і переносяться потоком газу на поверхню виробу, який обробляється.

У звичайних умовах при напиленні у відкритому середовищі і при атмосферному тиску температура плазмового струменя може становити від $5 \cdot 10^3$ до $55 \cdot 10^3$ °С, а швидкість витікання — досягати 1000—1500 м/с. Потрапляючи в плазмовий струмінь, частинки порошку нагріваються до плавлення і прискорюються в середньому до 50—200 м/с.

Плазмово-дуговий спосіб напилення покриттів характеризується такими показниками: - можливість отримання покриття товщиною в межах від 50 мкм до 10 мм з матеріалів, які плавляться, без розкладу при температурах плазмового струменя; відносно мала теплова дія на поверхню основи (звичайне нагрівання її в межах 50—150 °С), що дає можливість наносити покриття на широке коло матеріалів, включаючи пластмаси, деревину, картон тощо; досить висока продуктивність

процесу напилення, яка залежно від потужності плазмотронів може становити від 3 до 11 кг/год.



а — плазмовий; б — газополуменевий; в — електродуговий;
г — детонаційний; д — газодинамічний;
1 — розпилувач; 2 — дуга; 3 — газопорошковий потік; 4 — покриття; 5 — основа.

Рисунок 2.1 - Принципові схеми методів газотермічного нанесення покриття.

Процес дає можливість гнучкого регулювання електричного та газового режимів роботи плазмотрона та застосування для утворення струменя плазми газів різного роду: інертних (аргон, гелій), відновлювальних (водню), окислювальних (повітря), що при використанні камер із захисним середовищем або вакуумом, а також

захисних насадок дозволяє регулювати властивості середовища, в якому нагріваються та переміщуються частинки напилюваного матеріалу.

У *газополумених* процесах нанесення покриття (рис. 2.1 б) використовується тепло, яке виділяється при згорянні горючих газів (ацетилену, пропан-бутану, водню, метану тощо) у суміші з окисником (киснем або стиснутим повітрям). Нагріті продукти згорання при витіканні в простір, заповнений повітрям або іншим газом, утворює запалений струмінь, який називається факелом.

При *газополуменовому* напиленні покриття ацетилен та його замітники: пропан, водень, а також рідинне пальне можуть використовуватись як горючий газ. Окисником є кисень або повітря. Температура струменя продуктів згорання залежить від складу горючої суміші. Наприклад, температура струменя ацетиленокисневого полум'я становить 3200 °С, пропан-бутанкисневого — 2600 °С. Швидкість частинок напилюваного матеріалу знаходиться в межах 20—80 м/с.

До основних характеристик газополуменового нанесення покриттів можна віднести: можливість отримання покриттів товщиною до 10 мм з матеріалів, які плавляться при температурі до 2800 °С без розкладання; доцільна товщина — від 0,5 до 5,0 мм; високу продуктивність процесу (до 10 кг/год); відносно малу теплову дію на основу (в межах 150—350 °С), що дозволяє наносити покриття на поверхні великого асортименту матеріалів, включаючи пластмасу, деревину тощо; можливість нанесення покриттів на вироби практично без обмежень їх розмірів за наявності необхідного пристосування для механізації робіт; можливість нанесення покриттів у всіх просторових положеннях апарата.

Електродугове напилення. При електродуговій металізації утворення потоку напилюваних частинок відбувається внаслідок плавлення матеріалу, який напилюється, багатоамперною дугою та диспергування його швидкісним струменем газу (рис. 2.1 в).

Цей процес використовується переважно для напилення корозійностійких та зносостійких покриттів із металів. Можливе отримання біметалевих покриттів псевдосплавів, а також покриттів із спеціальними властивостями при використанні дротів із різних матеріалів або порошкового дроту, який складається з металевої

оболонки та порошкового осердя.

Основними характеристиками електродугового напилення є висока продуктивність процесу, яка може досягати 50 кг/год, та високий енергетичний ККД розпилення, який може бути 0,7—0,9.

При *детонаційному* методі нанесення покриттів (рис. 2.1 з) використовується енергія вибуху газових сумішей. Цей метод напилення на відміну від інших газотермічних методів є імпульсним. Порошок матеріалу, який використовується для формування покриття, і суміш газів періодично подаються в розпилювач.

Після ініціювання займання горючої суміші розвивається процес її детонаційного горіння. При цьому формується потік частинок матеріалу, який нагрівається і прискорюється продуктами згоряння газової суміші. Ударна взаємодія імпульсного двофазного потоку продуктів детонації і частинок порошку з поверхнею основи супроводжується утворенням одиничної плями напилення.

Процес утворення плям напилення циклічно повторюється. При подаванні у факел матеріалу, який напилюється, його частинки нагріваються і прискорюються продуктами згоряння.

До основних характеристик детонаційного нанесення покриттів можна віднести: можливість отримання покриття з малою пористістю (0,5—1,5 %) та високою (до 100 МПа) міцністю зчеплення покриття з основою більшості порошків, які плавляться при температурі до 2800 °С без розкладання; нанесення покриття на метали (з твердістю поверхні до 60 HRC), кераміку, скло, пластмаси та інші матеріали за відсутності деформації напилюваної поверхні; можливість керувати хімічним складом продуктів детонації (відновлювальний, нейтральний, окиснювальний) та енергетичними характеристиками процесу внаслідок регулювання складу газової суміші.

Залежно від потужності установок продуктивність порошку, що напилюється, знаходиться в межах 0,5—4,0 кг/год. Дистанція напилення вибирається залежно від матеріалу виробу, його розмірів, форми, розпилюваного матеріалу, товщини покриття в межах від 50 до 200 мм. Необхідну товщину покриття отримують багаторазовим повторенням циклів процесу, переміщенням виробу перед зрізом ствола гармати. Крок переміщення не повинен перевищувати половини діаметра плями напилення.

До особливостей детонаційного способу нанесення покриттів належать вимоги до твердості поверхні напилення, яка не повинна

перевищувати 60 HRC.

До недоліків процесу можна віднести високий рівень шуму в приміщенні, який досягає 140 дБ.

Формування металевого покриття *газодинамічним* способом (методом “холодного” напилення) (рис. 2.1 д) ґрунтується на утворенні на поверхні, що напилюється, шару з частинок металу, які мають високу кінетичну енергію і деформовані внаслідок удару об основу. Для цього використовується надзвуковий струмінь газу (повітря, Ar, He), нагрітий до 200—600 °С, в який вводяться частинки порошкового матеріалу, що прискорюються до швидкості, необхідної для формування покриття.

Метод реалізують за допомогою надзвукового сопла (сопла Лавалю), яке дозволяє отримати швидкість струменя з числом Маха $M = 2—4$. Як прискорювальний газ використовується суміш повітря з гелієм при загальному тиску у форкамері $P_0 = 2,0$ МПа. Змінюючи склад суміші від чистого повітря до чистого гелію, можна збільшувати швидкість частинок від 200 до 1200 м/с.

Для реалізації методу газодинамічного напилення доцільно використовувати порошки з грануляцією $d_r \leq 60$ мкм.

Перевагами газодинамічного (“холодного”) напилення є: висока щільність покриття; низький вміст оксидів; низькі залишкові напруження; мінімальне нагрівання основи; можливість нанесення покриття на коротких дистанціях (менше 10 мм).

Газодинамічне нанесення покриття дозволяє отримання покриття з металів і композитного матеріалу з металеві матриці та включень кераміки в діапазоні від 2 до 25 % за об’ємом; отримання міцності зчеплення металевого покриття з основою на рівні 40—80 МПа та пористості 3 - 7 %.

Частинки порошкового матеріалу в процесі їх прискорення не нагріваються вище, ніж 200—300 °С і перебувають в твердому стані та практично не окислюються при нанесенні покриття.

Формування покриття з твердих частинок не викликає високотемпературного нагрівання основи, що забезпечує низький рівень залишкових напружень у покриттях, високу адгезію покриття і можливість нарощувати досить великі товщини, причому матеріал основи, як і матеріал частинок, практично не окислюється.

Продуктивність способу досягає рівня 3—15 кг/год, товщина

покриття — 250 мкм за один прохід.

Пальники для порошкового напилення «Могул - У9» конструктивно виконані у вигляді пістолета і розроблені для напилювання металевих та керамічних порошків. За допомогою цього пальника можливо наносити покриття товщиною від 0,1 мм до декількох міліметрів на деталі типу “вал”, а також на плоскі деталі.

Газополуменевий пальник для напилення “Могул - У9” безінжекторного типу і керування здійснюється на допоміжному обладнанні за рахунок регулювання витрат і тиску на панелі керування. Вентилем вмикають подачу пального газу, підпалюють і переводять вентиль в інше положення, при цьому утворена газова суміш через канали в корпусі потрапляє в багатосопловий мундштук, де на зрізі відбувається горіння. Всередині мундштука знаходиться отвір для подачі порошку в потік продуктів гарячої суміші.

Пальник Євро-Джет XS8 призначений для напилення та наплавлення порошкових самофлюсуючих твердих сплавів з метою зміцнення поверхні, а також для виправлення дефектів та механічних пошкоджень. Його створено на базі відомого пальника для зварювання ГЗ, в який між стволом пальника та наконечником встановлено інжекторний вузол з порошковим живильником.

В останні роки набули розвитку так звані гібридні процеси як наслідок поєднання окремих джерел енергії, наприклад, лазерно-плазмові та ін.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Суть процесів газотермічного нанесення покриття.
2. Галузь застосування процесу газотермічного нанесення покриття.
3. Які джерела енергії використовуються при газотермічних методах нанесення покриття?

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки із низьковуглецевої сталі товщиною 5 мм, розміром 150×150 мм.
2. Металізатор МГИ 4 А.
3. Пальник Євро-Джет XS8,
4. Пальники для порошкового напилення «Могул - У9»
5. Пост для напилення з підведенням кисню, ацетилену.

5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.
2. Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.
3. Забороняється проводити роботу без захисного одягу. Нагляд за проходженням процесу здійснювати тільки через захисні окуляри.
4. У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.
5. У випадку виникнення пожежі або поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.
6. Роботи по запуску в дію металізатора проводити під наглядом учбового майстра або викладача.
7. Запуск апарата в роботу здійснювати строго відповідно до вимог даної інструкції і технічного паспорта.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з будовою і принципом дії газового металізатора МГИ 4 А.

2. Підключити металізатор до газовідбірного поста і здійснити його запуск в роботу.
3. Нанести покриття на поверхню сталевієї пластини.
4. Вимкнути металізатор, від'єднати від системи живлення газами.
5. Ознайомитись з будовою і принципом дії пальника для порошкового напилення «Могул - У9».
6. Підключити пальник «Могул - У9» до газовідбірного поста і здійснити його запуск в роботу.
7. Нанести покриття на поверхню сталевієї пластини.
8. Вимкнути пальник, від'єднати від системи живлення газами.
9. Ознайомитись з будовою і принципом дії газового пальник Євро-Джет XS8.
10. Підключити пальник Євро-Джет XS8 до газовідбірного поста і здійснити його запуск в роботу.
11. Наплавити покриття на поверхню сталевієї пластини.
12. Скласти звіт по роботі.

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Короткі теоретичні данні.
2. Схеми процесів.
- 3 Аналіз і висновки по роботі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Серенко О.М., Роянов В.О. Зварювання. Вступ до спеціальності: Підручник. - Маріуполь: ПДТУ, 2008. – 260 с.
2. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М., Ющенко К.А., Борисов Ю.С. Фізико-хімічні основи інженерії поверхні: Навч. посібник. — К.: ВІПОЛ, 2005. — 372 с.