

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни «Інженерія поверхні»
модуль «Технології інженерії поверхні»
для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання»
професійного спрямування 8.05050403 «Відновлення та підвищення
зносостійкості деталей і конструкцій»

Затверджено методичною радою ЗФ, НТУУ «КПІ»

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Інженерія поверхні» модуль «Технології інженерії поверхні» для студентів напряму підготовки 6.050504 «Зварювання» професійного спрямування 8.05050403 «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» / укл. В.М. Пащенко – К.: НТУУ «КПІ», 2012 р. – 15 с., укр.

УКЛАДАЧ:

Пащенко Валерій Миколайович,
кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний редактор:

В. В. Квасницький,
доктор технічних наук, професор

Рецензент:

Р. М. Рижов,
доктор технічних наук, професор

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

Мета роботи: набути практичних навичок підтримання заданого температурного режиму основи для досягнення максимальної міцності зчеплення покриття з основою

Необхідне обладнання прилади і матеріали: зразки для штифтових випробувань із низьковуглецевої сталі (15 шт. – 5 партій, по 3 зразки у кожній); установка плазмового напилення «Київ-7»; порошок для напилення (сплав на основі заліза фракція (40 – 60) мкм; прилад для вимірювання міцності зчеплення покриття з основою; лінійка; секундомір; терези.

Стислі теоретичні відомості

Найбільш вагомими параметрами, що характеризують зовнішні умови нанесення покриття є: дистанція напилення (L) і температура виробу (T) в процесі нанесення покриття.

Для плазмового нанесення покриття дистанція, зазвичай, становить (50 – 300) мм, залежно від конструкції розпилювача і газу, який застосовується як плазмоутворювальний.

Зі збільшенням дистанції знижується температура і швидкість напилюваних частинок поблизу поверхні виробу (рис. 1.1), знижується ймовірність перегрівання виробів, а також зростає діаметр плями напилення.

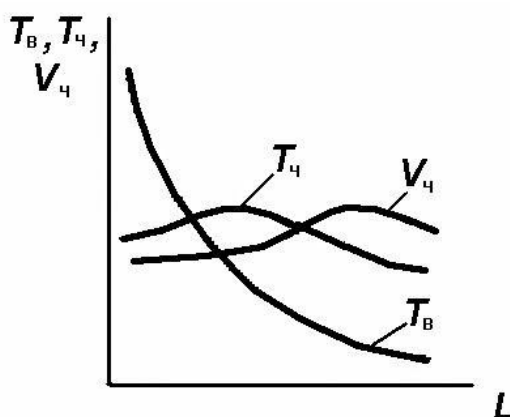


Рисунок 1.1 – Вплив дистанції напилення L на температуру поверхні виробу T_B , температуру напилюваної частинки $T_ч$, та швидкість частинок $V_ч$

Це дозволяє отримувати покриття більш рівномірні за товщиною. Водночас необґрунтоване збільшення дистанції напилення може призвести до зниження міцності зчеплення покриття з основою внаслідок недостатньої температури і швидкості частинок, які утворюють покриття.

Малі відстані не завжди забезпечують розігрівання частинок до температури плавлення та надання їм необхідної швидкості та можуть призводити до перегрівання виробу.

Температура поверхні виробів, на які напилюється покриття, суттєво впливає на ефективність процесу. Із підвищенням температури поверхні зростає температура в місці контакту частинок з основою, що позитивно впливає на міцність зчеплення покриття з основою, але значне підвищення температури основи може призвести до її деформації або до утворення на поверхні оксидів, які будуть погіршувати змочуваність поверхні в момент удару частинок об основу, що спричинить, у свою чергу, зниження міцності зчеплення покриття з основою. Тому, під час напилення покриттів у відкритій атмосфері, перегрівання виробів у більшості випадків недопустиме, оскільки за цих умов можливе окиснення поверхні виробу. Як правило, температура поверхні виробів має не перевищувати (200 – 300) °С.

Порядок виконання роботи

1. Розібрати зразки, промити спиртом, знову зібрати, зафіксувати штифти гвинтом.

2. Установити зразки із партії № 1 у захисній камері установки плазмового напилення «Київ-7», оброблюваною поверхнею догори.

3. Установити необхідні режимні параметри роботи установки «Київ-7» (струм 300 А, витрати газів: повітря – (4,5 – 5,0) м³ / год., пропан-бутану – (0,11 – 0,16) м³ / год., дистанція напилення – 250 мм).

4. Провести напилення партії зразків № 1. Час напилення – 5 с. Визначити температуру кожного зразка за значенням потенціалів термопар. Результат занести у табл. 1.1.

5. Провести напилення партії зразків № 2. Час підігрівання без подавання порошку – 2 с, час напилення – 5 с. Визначити температуру кожного зразка за значенням потенціалів термопар. Результат занести у табл. 1.1.

6. Провести напилення партії зразків № 3. Час підігрівання без подавання порошку – 5 с, час напилення – 5 с. Визначити температуру кожного зразка за значенням потенціалів термопар. Результат занести у табл. 1.1.

7. Провести напилення партії зразків № 4. Час підігрівання без подавання порошку – 7 с, час напилення – 5 с. Визначити температуру

Вимоги до звіту по роботі

1. Навести мету роботи.
2. Описати порядок виконання роботи.
3. Заповнити табл. 1.1.
4. Побудувати графік залежності $\sigma = f(T)$.
5. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. На що і як впливає дистанція напилення?
2. На що і як впливає температура поверхні зразка?
3. Як змінюється міцність зчеплення покриття з основою зі збільшенням часу підігрівання?
4. Яку температуру виробу можна вважати оптимальною у разі газотермічного нанесення покриття?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ НА ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ

Мета роботи: набути практичних навичок відпрацювання технології нанесення покриття на характерних зразках із оптимізацією за коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ).

Необхідне обладнання прилади і матеріали: зразки з низьковуглецевої сталі (розміром 200 × 200 × 3 мм), 9шт; установка плазмового напилення «Київ-7»; порошок для напилення (сплав на основі заліза); лінійка; секундомір; терези.

Стислі теоретичні відомості

Основними параметрами режиму роботи плазмового розпилювача є: потужність, яка визначається силою струму та напругою; витрата плазмоутворювального та транспортуючого газів; дистанція напилення тощо.

Напруга дуги залежить від її довжини, яка в основному визначається конструктивною схемою плазмотрона, а також видом та (частково) витратою плазмоутворювального газу. Струм є параметром, який регулюється в процесі відпрацювання та

використання технології. Вплив потужності дуги на характеристики процесу напилення показано на рис. 2.1.

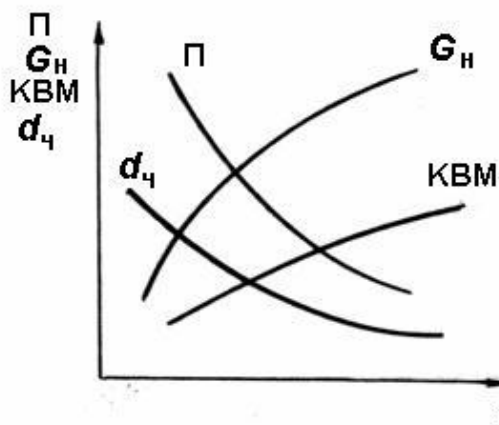


Рисунок 2.1 – Вплив потужності плазмотрона (N_n) на пористість (Π), продуктивність (G_n), коефіцієнт використання матеріалу КВМ, максимальний діаметр розпилюваних частинок ($d_{\text{ч}}$)

У загальному випадку зі значним збільшенням витрати плазмоутворювального газу суттєво знижується щільність покриття, КВМ та інші показники ефективності процесу. За умови сталого значення потужності дуги збільшення витрати плазмоутворювального газу знижує температуру частинок порошку, хоча деяке підвищення швидкості частинок за цих умов позитивно впливає на ефективність процесу. Усі наведені режимні параметри нанесення покриття впливають на коефіцієнт використання матеріалу (КВМ). КВМ – це відношення маси матеріалу, який увійшов до складу покриття, до маси матеріалу, що був використаний за час напилення покриття. Цей коефіцієнт у першому наближенні корелює з якістю покриття (щільністю, міцністю зчеплення з основою) і відповідає ступеню досконалості розпилювального пристрою та режиму його роботи. Крім того КВМ, як правило, є параметром оптимізації технологічного процесу для досягнення мінімальної собівартості покриття.

Порядок виконання роботи

1. Зважити кожний зразок на терезах. Дані занести у табл. 2.1.
2. Установити зразок № 1 у захисній камері установки плазмового напилення «Київ-7», оброблюваною поверхнею догори.
3. Засипати порошок до дозатора-живильника і протарувати його, визначивши продуктивність у грамах за секунду.
4. Для напилення зразків № 1 – 3 встановити потрібні режимні параметри роботи установки «Київ-7»: струм 200 А; витрата газів: повітря – (4,5 – 5,0) м³/ год., пропан-бутану – (0,11 – 0,16) м³/ год. Час

напилення кожного зразка – 1хв. Час напилення контролювати секундоміром.

5. Провести напилення зразків № 1 – 3, змінюючи дистанцію напилення. Для зразка № 1 дистанція становить 200 мм, № 2 – 250 мм, №3 – 300 мм.

6. Зважити зразки № 1 – 3 після напилення. Результат занести у табл. 2.1.

7. Установити потрібні режимні параметри роботи установки для напилення зразків № 4 – 6: витрата газів: повітря – (4,5 – 5,0) м³ / год., пропан-бутану – (0,11 – 0,16) м³ / год.; дистанція напилення – 250 мм. Час напилення кожного зразка – 1хв.

8. Провести напилення зразків № 4 – 6, змінюючи струм дуги. Для зразка № 4 струм – 150 А, № 5 – 200 А, № 6 – 250 А.

9. Зважити зразки №4 – 6 після напилення. Результат занести у табл. 2.1.

10. Встановити потрібні режимні параметри роботи установки для напилення зразків № 7 – 9: струм 250 А, дистанція напилення – 250 мм. Час напилення кожного зразка – 1хв.

11. Провести напилення зразків № 7 – 9, змінюючи витрату плазмоутворювального газу. Для зразка № 7 загальна витрата становить 3,0 м³ / год., № 8 – 4,0 м³ / год., № 9 – 5,0 м³ / год. (співвідношення окиснювача та горючого газу зберігати).

12.Зважити зразки № 7 – 9 після напилення. Результат занести у табл. 2.1.

13. Розрахувати КВМ за формулою:

$$\text{КВМ} = \frac{m_n}{m_0} 100 \%, \quad (2.1)$$

де m_n – маса матеріалу в покритті, m_0 – загальна маса матеріалу, який був використаний для напилення зразка. Результат занести у табл. 2.1.

14. Побудувати графіки залежностей: $\text{КВМ} = f(L)$ (КВМ від дистанції напилення), $\text{КВМ} = f(I)$ (КВМ від струму дуги), $\text{КВМ} = f(Q)$ (КВМ від витрати плазмоутворювального газу).

15. Зробити висновки.

Таблиця 2.1 – Експериментальні та розрахункові дані лабораторної роботи

№	Маса зразка до напилення, г	Продуктивність дозатора-живильника, г/с	Маса зразка після напилення, г	Витрата порошку, г	Маса покриття, г	КВМ, %

Вимоги до звіту по роботі

1. Навести мету роботи.
2. Описати порядок виконання роботи.
3. Заповнити табл. 2.1.
4. Побудувати залежності КВМ від режимних параметрів (L , I , Q).
5. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Які основні режимні параметри процесу газотермічного нанесення покриття?
2. Що таке КВМ?
3. Як впливають режимні параметри процесу нанесення покриття на КВМ?
4. Запропонуйте можливі шляхи підвищення КВМ.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИВЧЕННЯ МЕТОДИК ПОПЕРЕДНЬОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

Мета роботи: набути практичних навичок відпрацювання технології нанесення покриття на зразках із оптимізацією по міцності зчеплення покриття з основою.

Необхідне обладнання, прилади і матеріали: зразки для випробування на відрив (70 шт); установка плазмового напилення "Київ-7"; пристрій для напилення партії зразків (рис. 3.1); порошок для напилення (на залізній основі); розривна машина; епоксидний клей на основі смоли марки Э-5.

Стислі теоретичні відомості

Міцність зчеплення покриття з основою є однією з основних характеристик якості покриття, яка в більшості випадків засвідчує його працездатність. Широко розповсюджені якісні методи визначення міцності зчеплення: нанесення сітки подряпин, перегин листового зразка з покриттям до появи першої тріщини, випробування на удар із заданим зусиллям тощо.

Відомі й кількісні методи визначення міцності зчеплення покриття з основою. Найпоширенішими з них є клейовий метод і метод відриву

штифта. На сьогодні не існує надійної універсальної методики визначення міцності зчеплення покриття з основою. Єдиною стандартизованою методикою визначення міцності зчеплення покриття з основою є клейова методика.

Перевагами клейового методу є: простота та нечутливість до перекошень зразків під час випробувань. До недоліків можна віднести: залежність міцності зчеплення покриття з основою від діаметра зразка; можливе завищення експериментальних даних унаслідок проникнення клею всередину покриття крізь його пори; обмеження за діапазоном значень міцності, яка вимірюється (якісні клеї мають міцність не вище (20 – 50) МПа на розривання).

Для випробувань застосовуються зразки циліндричної форми, визначеного стандартом розміру, які напилюються сумісно у кількості не менше 10 шт. Після нанесення покриття зразки з покриттям склеюються торцями з такими ж зразками (зразками-свідками), але без покриття. Як основу клею застосовують епоксидну смолу марки Э-5, або Э-6.

Твердіння відбувається за умови кімнатної температури протягом трьох діб, або в умовах нагрівання до 100 °С протягом трьох годин.

Визначення міцності зчеплення можна проводити на універсальних розривних машинах типу 1253У-2-1 і 1253У-2-2, або на будь-яких інших, які за своїми технічними характеристиками дозволяють розвивати питоме зусилля ≥ 50 МПа.

Кінцевий результат випробувань подають у вигляді трьох цифр: номінальної величини міцності зчеплення (середнє арифметичне з даних, отриманих під час випробувань) та максимальної і мінімальної величини міцності зчеплення). Зразки, розірвані по шару клею, у кінцевий результат випробувань не зараховують.

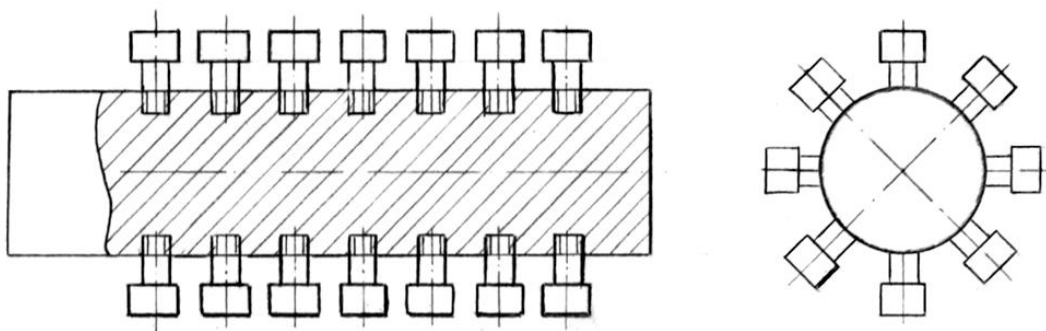


Рисунок 3.1 – Схема пристосування для напилення партії зразків

Порядок виконання роботи

1. Закріпити зразки (5 шт) у пристрої для напилення партії зразків. Встановити пристрій у захисну камеру установки "Київ-7".
2. Для зразків із партії № 1 (5 шт) установити потрібні режимні параметри роботи установки "Київ-7": (струм 200 А; витрата газів: повітря – (4,5 – 5,0) м³ / год., пропан-бутану – (0,11 – 0,16) м³ / год.; дистанція напилення – 250 мм). Час напилення – 10 с.
3. Збільшити струм дуги до 250 А, всі інші режимні параметри незмінні. Повторити п.1 з партією зразків № 2 (5 шт). Час напилення – 10 с.
4. Збільшити струм дуги до 300 А, всі інші режимні параметри незмінні. Повторити п.1 з партією зразків № 3 (5 шт). Час напилення – 10 с.
5. Установити потрібні режимні параметри роботи установки (струм 2500 А; витрата газів: повітря – (4,5 – 5,0) м³ / год., пропан-бутану – (0,11 – 0,16) м³ / год.; дистанція напилення – 200 мм). Повторити п.1 з партією зразків № 4 (5 шт). Час напилення – 10 с.
6. Збільшити дистанцію напилення до 300 мм, всі інші режимні параметри незмінні. Повторити п.1 з партією зразків № 5 (5 шт). Час напилення – 10 с.
7. Установити потрібні режимні параметри роботи установки (струм 300 А; витрата газів: повітря – 4,0 м³ / год., пропан-бутану – 0,1 м³ / год.; дистанція напилення – 250 мм). Повторити п.1 з партією зразків № 6 (5 шт). Час напилення – 10 с.
8. Збільшити сумарну витрату плазмоутворювального газу до 6 м³ / год., всі інші режимні параметри незмінні. Повторити п.1 з партією зразків № 7 (5 шт). Час напилення – 10 с.
9. Обробити поверхні зразків струменем стиснутого повітря.
10. Обробити поверхні зразків-свідків на струминно-абразивній установці.
11. Приготувати клей для склеювання напилених зразків зі зразками-свідками такого складу (у масових частках): смола епоксидна Э-5 – 100; пластифікатор ДБФ (дибутилфталат) – 13; наповнювач – (150 – 200); отверджувач ПЕПА – 10. Отверджувач додавати не раніше як за 30 хв. до склеювання.
12. Склеїти 35 пар зразків.
13. Встановити першу склеєну пару зразків у розривну машину для випробування на міцність зчеплення покриття з основою.
14. Провести випробування. Руйнуюче зусилля P (Н), за якого відбулося розривання, занести у табл. 3.1.
15. Розрахувати значення міцності зчеплення (σ) за формулою:

$$\sigma = \frac{P}{0,05}, \text{ Па.} \quad (3.1)$$

16. Результат занести у табл. 3.1.

17. Повторити пп. 12 – 16 з усіма парами зразків.

18. Підрахувати середнє арифметичне значень $\sigma_{\text{сер}}$ для кожної партії зразків, під час наплення яких змінювався струм дуги, дистанція наплення або витрати плазмоутворювальних газів. Визначити максимальне значення σ_{max} і мінімальне значення σ_{min} . Значення $\sigma_{\text{сер}}$, σ_{max} та σ_{min} занести у табл. 3.1.

19. Побудувати графік залежності міцності зчеплення покриття з основою: від сили струму дуги $\sigma = f(I)$, від дистанції наплення $\sigma = f(L)$, від витрати плазмоутворювальних газів $\sigma = f(Q_{\Sigma})$.

20. Зробити порівняльний аналіз отриманих залежностей і визначити оптимальні, у дослідженому діапазоні, режими нанесення покриття.

21. Зробити висновки.

Таблиця 3.1 – Експериментальні та розрахункові дані лабораторної роботи

№ партії зразків	I , А	L , мм	Q , м ³ /год,	Руйнуюче зусилля P , Н	Міцність зчеплення (σ), МПа	$\sigma_{\text{сер}}$, МПа	σ_{max} , МПа	σ_{min} , МПа

Вимоги до звіту по роботі

1. Навести мету роботи.
2. Описати порядок виконання роботи.
3. Заповнити табл. 3.1.
4. Побудувати графіки залежностей $\sigma = f(I)$, $\sigma = f(L)$, $\sigma = f(Q_{\Sigma})$.
5. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Які якісні методи визначення міцності зчеплення покриття з основою використовуються в практиці нанесення покриттів?
2. Які основні кількісні методи визначення міцності зчеплення покриття з основою використовують у промисловості?
3. Наведіть основні недоліки і переваги клейового методу визначення міцності зчеплення покриття з основою.
4. Наведіть формулу, за якою розраховують значення міцності зчеплення покриття з основою.
5. У якому вигляді має бути поданий кінцевий результат випробувань на міцність зчеплення покриття з основою?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДОДАТКОВОЇ ОБРОБКИ ПОКРИТТІВ

Мета роботи: набути практичних навичок оплавлення самофлюсівних покриттів струменем високотемпературного газу розпилювача.

Необхідне обладнання, прилади і матеріали: газополуменевий пальник; два зразки із нанесеним покриттям розміром 30×30×10 мм; термометр контактний мікропроцесорний; годинник; зубило; молоток.

Стислі теоретичні відомості

Самофлюсівні нікелеві сплави системи Ni-B-Si-Cr є сплавами на основі нікелю або кобальту, які містять більше 1,5 % бору або кремнію. Їх наносять методами газотермічного напилення для захисту деталей від абразивно-корозійного впливу робочого середовища і, як правило, після напилення оплавляють з метою ліквідації пористості та підвищення механічних властивостей покриттів. Оплавлення таких покриттів проводять у присутності рідкої та твердої фаз за умови досягнення температури, яка відповідає діапазону кристалізації сплавів цієї системи. Під час нагрівання таких покриттів до температур (950 – 1100) °C відбувається їх оплавлення, а бор і кремній частково переходять у B_2O_3 та SiO_2 . Оксиди металів, які утворюються в покритті, розчиняються з утворенням склоподібних шлаків, що підіймаються на поверхню покриття. Оброблені таким чином покриття характеризуються високою твердістю та міцністю зчеплення.

Найчастіше, проплавлення шару самофлюсівного сплаву оцінюють візуально за «запотіванням» поверхні покриття під час нагрівання.

Оплавлення покриттів із самофлюсівних сплавів доцільно проводити відразу після напилення. Не можна допускати перегрівання покриття, яке призводить до підтікання та погіршення фізико-механічних властивостей покриття (може відбутися стікання покриття і його товщина стане нерівномірною).

У промислових умовах за температуру проплавлення беруть таку температуру, за якій на поверхні ділянки, яка проплавляється, з'являється відбиття пальника (утворюється «дзеркальний» блиск). Щоб запобігти утворенню тріщин та інших дефектів після оплавлення покриття, деталь необхідно повільно охолодити (наприклад, разом з піччю або в термостаті).

Оплавлення покриттів з самофлюсівних сплавів на деталях, що працюють в умовах тертя зі змащенням, рекомендують проводити не повністю, а так, щоб ширина неоплавлених ділянок була (3 – 4) мм, а відношення площі неоплавлених ділянок до всієї площі покриття не перевищувало 80 %. Більша вісь неоплавлених ділянок у цьому випадку розташовується перпендикулярно напрямку руху деталі в умовах експлуатації. Попередньо нагрівають усе покриття до температури (900 – 950) °С, а оплавлення окремих ділянок проводять пальником.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати газополуменевий пальник до роботи.
2. Розмістити зразок із покриттям на поверхні вогнетривкої цеглини, покриттям догори.
3. Встановити необхідні режимні параметри пальника (співвідношення робочих газів $O_2 : C_2H_2 = 3 : 4$, відновне полум'я).
4. Провести підігрівання зразка до температури (600 – 850) К з відстані (100 – 125) мм, роблячи зворотно-поступальні рухи факелом полум'я пальника по всій поверхні. Температуру вимірювати термометром.
5. Після досягнення температури (600 – 850) К, наблизити пальник на відстань 40 мм до поверхні зразка і продовжувати нагрівання (до температури (950 – 1100) °С), роблячи невеликі коливальні рухи до появи «дзеркального» блиску поверхні, якій свідчить про закінчення процесу оплавлення. Час підігрівання і час оплавлення занести у табл.4.1.
6. Дати охолонути зразку і встановити другий зразок із покриттям.
7. Установити дистанцію обробки 40 мм і повторити пп. 5, 6.
8. Візуально перевірити якість покриття на наявність тріщин, відшарувань покриття від основи.
9. Встановити перший зразок у струбціні (рис. 4.1).
10. Встановити планку з ножем на межі між покриттям і основою, а вагу масою 1 кг підняти на висоту 30 мм і відпустити. Якщо відколи покриття не перевищують площу 1см^2 , або покриття не відколюється зовсім – вважати покриття якісним, а вибрані параметри напilenня – раціональними. Таку саму операцію виконати з другим зразком. Площу відколу та висновки щодо якості покриття занести у табл. 4.1.

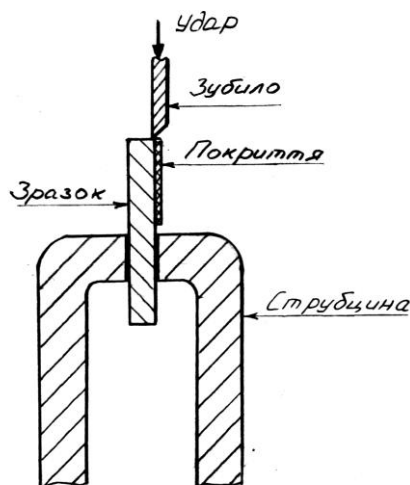


Рисунок 4.1 – Схема встановлення зразка з покриттям у струбціні

Таблиця 4.1 – Результати виконання лабораторної роботи

№ зразка	Час підігрівання, с	Час оплавлення, с	Площа відколу покриття, см ²	Висновок
Зразок 1				
Зразок 2				

Вимоги до звіту по роботі

1. Навести мету роботи.
2. Описати порядок виконання роботи.
3. Заповнити табл. 4.1.
4. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Наведіть характерний хімічний склад самофлюсівних покриттів.
2. Для чого використовуються самофлюсівні покриття?
3. Яка мета наступного оплавлення самофлюсівних покриттів?
4. За якої температури оплавлюють самофлюсівні покриття?
5. На що впливає попереднє підігрівання зразка?
6. Що є критерієм оплавлення самофлюсівних покриттів?
7. Що відбудеться, якщо перегріти зразок?