

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра технологій зварювання та будівництва

ПЛАЗМОВІ ТА ПРОМЕНЕВІ МЕТОДИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 131 "Прикладна
механіка", спеціалізацією "Технології та устаткування зварювання"

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри технологій
зварювання та будівництва №6 від
08.12.2021 р.

Плазмові та променеві методи обробки матеріалів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 131 "Прикладна механіка", спеціалізацією "Технології та устаткування зварювання" /Укл.: Болотов Г.П., Болотов М.Г.– Чернігів: НУЧП, 2021. – 22 с.

Укладачі: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри технологій зварювання та будівництва;
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва.

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва

Рецензент: Ющенко Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА НЕМЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ В ПЛАЗМІ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ

Мета роботи: ознайомитися з методикою та устаткуванням іонно-плазмової обробки поверхонь металів

1.1 Інформація для самостійної підготовки

Фізичні, електрофізичні та хімічні властивості поверхонь металів, напівпровідників та інших матеріалів в значній мірі залежать від забруднень їх сторонніми речовинами.

Підготовка поверхонь перед нанесенням вакуумних покриттів є необхідною стадією процесу вакуумної металізації, оскільки стан поверхні на яку здійснюється напилення, суттєво впливає на властивості покриття (зовнішній вигляд, адгезію, пористість та ін.).

Розрізняють три види поверхонь: 1) технологічна поверхня (поверхня вихідних деталей); 2) чиста поверхня (технологічно чиста поверхня), що пройшла очищення та знегажування у вакуумі; 3) надчиста поверхня, що отримується тільки у надвисокому вакуумі при розломі або випаровуванні. В технології нанесення вакуумних покриттів достатньою є чиста поверхня. Поняття чистої поверхні включає два різновиди чистоти поверхні: фізично чиста та хімічно чиста. Перша отримується після видалення всіх механічних забруднень (пил, жири та ін.), друга – після видалення хімічних забруднень (оксидів та інших продуктів корозії основного металу).

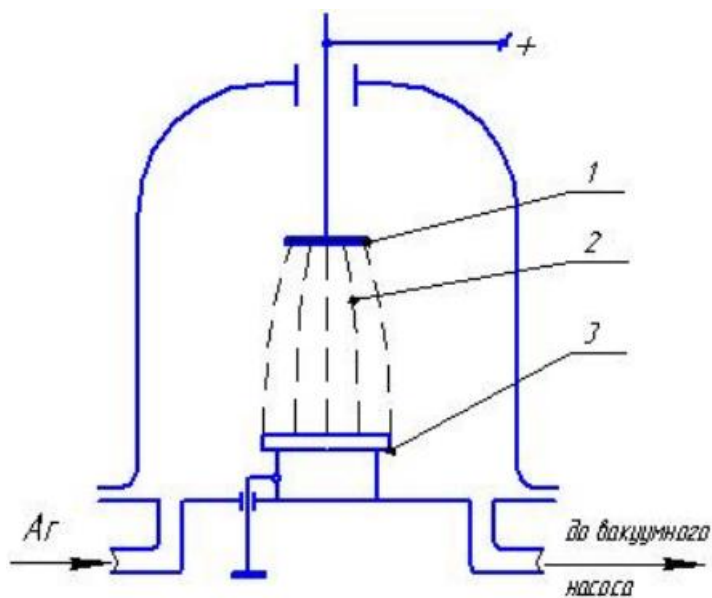
Забруднення поверхні мають як неорганічне, так і органічне походження. Неорганічні забруднення видаляють ретельним промиванням в проточній воді. Забруднення органічного походження представляють собою тонку жирову плівку, що покриває поверхню суцільним шаром. Видаляють такі забруднення хімічним способом за допомогою розчинів та поверхнево-активних миючих речовин.

Завершальне очищення поверхні перед осаджуванням плівок проводять у вакуумній камері за допомогою іонного бомбардування. Процес протікає в тліючому розряді, якщо поверхню, що підлягає очищенню, розташувати в зоні іонів значних енергій. Іонне бомбардування за декілька хвилин видаляє з поверхні молекулярні шари води, газів, оксидів та інших з'єднань.

На відміну від більшості інших способів, що вибірково діють на забруднення (жири, адсорбована вода, гази, оксиди, нітриди), іонне бомбардування

ефективно видаляє всі ці та інші забруднення. Внаслідок цього за допомогою іонного розпилення очищують поверхні металів, сплавів, напівпровідників, діелектриків від забруднень, що мають будь-яку твердість і міцність зчеплення з матеріалом. Перевагою методу очищення розпиленням є також те, що сам процес не забруднює поверхню і при низьких енергіях іонів не призводить до пошкодження при поверхневих шарів матеріалів.

Іонне очищення здійснюється іонами важких газів (аргону, криптону) при тиску газу в камері 1...10 Па. Для розпилення застосовують звичайно діодну (двохелектродну) систему розпилення (рисунок 1), що складається з анода і катода, розташованих в робочій камері. Катод являється джерелом електронів, що підтримують горіння тліючого розряду і, водночас, – мішенню, поверхня якої розпилюється бомбардуванням позитивними іонами газу. Напруга на електродах розряду складає 1...5кВ при відстані між мішенню та анодом 0,1...0,2 м. При очищенні діелектричних матеріалів їх необхідно розташовувати в між електродному проміжку між анодом та катодом в області прикатодного падіння потенціалу.



1 – анод; 2 – тліючий розряд; 3 – катод(мішень)

Рисунок 1 – Схема діодної системи розпилення

1.2 Обладнання і матеріали

1.2.1 Установка вакуумного розпилення матеріалів УРМ-3;

1.2.2 Балон з аргоном;

1.2.3 Мікроскоп-кутомір;

1.2.4 Набір зразків.

1.3 Порядок виконання роботи

- 1.3.1 Нанести на поверхню зразка краплю дистильованої води.
- 1.3.2 Виміряти крайовий кут змочування поверхні водою.
- 1.3.3 Встановити зразок в систему розпилення вакуумної установки.
- 1.3.4 Створити в камері необхідну газову атмосферу.
- 1.3.5 Запалити тліючий розряд в камері і здійснити очищення поверхні протягом 150...300 с .
- 1.3.6 Нанести на оброблену поверхню краплю дистильованої води та виміряти крайовий кут змочування.

1.4 Зміст звіту

- 1.4.1 Назва роботи і її мета.
- 1.4.3 Обладнання та матеріали.
- 1.4.4 Порядок виконання роботи.
- 1.4.2 Необхідні теоретичні дані.
- 1.4.5 Експериментальні результати.
- 1.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

1.5 Питання для самоконтролю

- 1.5.1. На які групи поділяють поверхні за чистотою?
- 1.5.2. Яким чином поділяють забруднення поверхні?
- 1.5.3. Назвіть основні способи видалення забруднень.
- 1.5.4. Як здійснюється іонне очищення поверхні?

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ НАГРІВУ В ПЛАЗМІ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ

Мета роботи: ознайомлення з обладнанням та технологією нагріву тліючим розрядом

2.1. Інформація для самостійної підготовки

Якщо до електродів, розташованих у об'ємі з розрідженим газом, прикласти різницю потенціалів та поступово її збільшувати, то у між електродному проміжку з'являється електричний струм. Виникнення струму пов'язане із присутністю у газі заряджених часток – іонів, що утворюються під впливом зовнішніх іонізаторів (світла, космічного випромінювання, фонові радіоактивності та ін.). При збільшенні різниці потенціалів струм між електродами збільшується до тих пір, поки не будуть вичерпані всі іони, що виникають під впливом зовнішніх іонізаторів.

Іонізація молекул (атомів) газу призводить до появи вторинних електронів, які прискорюючись становляться, як і первинні електрони, іонізаторами нейтральних газових часток. В результаті виникає лавиноподібно наростаючий потік електронів. При цьому струм між електродами, тобто направлений рух електронів та іонів під впливом електричного поля, різко зростає до значень, що залежать в основному від опору всього кола та потужності джерела живлення. Це явище у повітрі при атмосферному тиску починає спостерігатись при напруженості електричного поля порядку 10^4 В/см. Іонізація в цих умовах супроводжується збудженням молекул, появою світіння газу.

Явище лавиноподібного нарощування потоку електронів, що супроводжується світінням газу між електродами, називають запалюванням газового розряду або пробоем газового проміжку. Розряд, що формується після пробую, є самостійним, оскільки він здатний продукувати заряджені частки, необхідні для підтримання струму, і для його існування вже не потрібна дія зовнішніх іонізаторів.

Пробій газового проміжку пов'язаний із різким зростанням електропровідності газу в ньому. В результаті пробую здійснюється зниження напруги на електродах. Напруга, необхідна для пробую газового проміжку, носить назву напруги запалювання розряду. Напругу, що

встановлюється на електродах після пробою газového проміжку, називають напругою горіння розряду.

Самостійний розряд має різні форми, що відрізняються як зовнішнім виглядом, так і характером елементарних процесів. При високому тиску газу (порядку атмосферного), значній відстані між електродами, високовольтному, але малопотужному джерелі електричного живлення виникає іскровий розряд. При низькому тиску газу і достатньо малому опорі електричного кола формується тліючий розряд. При малому опорі зовнішнього кола і достатньо високому тиску газу услід за пробоем виникає дуговий розряд. Тліючий розряд може перейти в дуговий при зменшенні зовнішнього опору та підвищенні тиску газу в розрядному проміжку.

При проходженні струму через газ електропровідність останніх залежить від багатьох причин, і в першу чергу, від сили струму. Тому пропорційність між напругою та силою струму в розрядному проміжку відсутня. На рис. 2.1 схематично зображена вольт-амперна характеристика газového розряду. Ділянка *ab* відповідає самостійному темному розряду та переходу його до тліючого розряду, горизонтальна ділянка *bc* відповідає нормальному тліючому розряду. При подальшому збільшенні струму виникає аномальний тліючий розряд (ділянка *cd*). При струмі від одиниць до сотень і тисяч амперів розряд переходить у дуговий (ділянка *ef*).

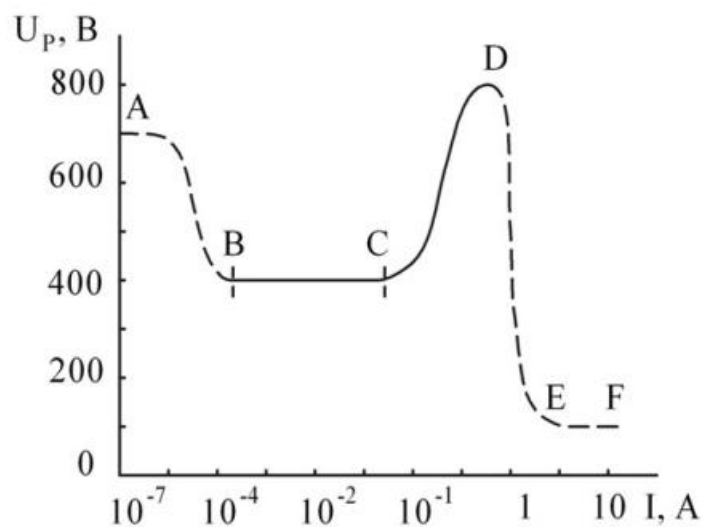


Рисунок 2.1– Вольт-амперна характеристика електричних розрядів у газах

В процесах термічної та хіміко-термічної обробки (зварювання, паяння, азотування, цементация та ін.) широко застосовується нормальний або аномальний тліючий розряд, що горить у розрідженій середовищі інертних

(аргон, гелій) або активних (азот, пари вуглеводнів або відповідних елементів).

Як вже відмічалось, тліючий розряд виникає після пробою міжелектродного проміжку при відносно низькому тиску газу і достатньо малому опорі зовнішнього кола. Тліючий розряд має характерний зовнішній вигляд. Простір між електродами представляє собою послідовність світлих та темних смуг. На рис. 2.2,а) схематично зображена послідовність їх розташування. Безпосередньо біля поверхні катода розташований темний астоновий простір 1, обмежений також вузькою областю катодного світіння 2. Наступний за нею темний катодний простір 3 змінюється областю від'ємного тліючого світіння 4. Далі іде фарадеевський темний простір 5, який переходить в область позитивного стовпа 6. Перед анодом знаходиться темний анодний простір 7 і безпосередньо біля поверхні анода розташований вузький шар анодного світіння 8.

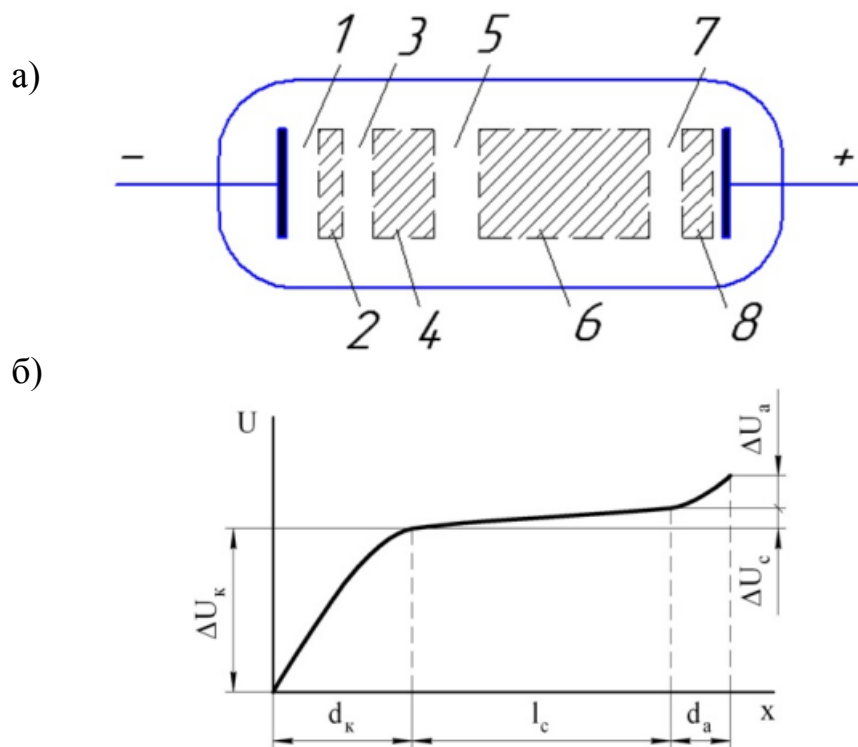


Рисунок 2.2– Структура (а) та розподіл потенціалу (б) по довжині тліючого розряду

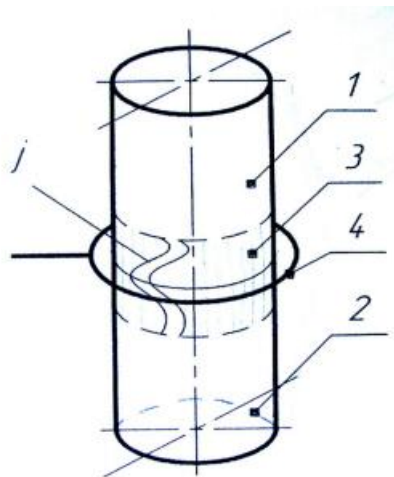
Розподіл потенціалу уздовж розрядного проміжку, приведений на рис. 2.2,б), свідчить, що поблизу катода спостерігається найбільш значний стрибок напруги, що зветься катодним падінням потенціалу і який залежить від роду газу та матеріалу катода. За величиною воно складає звичайно 150...400 В. Протяжність області катодного падіння залежить від тиску газу і зі збільшенням останнього звужується.

Електрони, що вилітають з катоду, прискорюються під дією електричного поля у цій області, і набувають енергію, достатню для іонізації атомів або молекул газового середовища. Позитивні іони газу, прискорені в області катодного падіння потенціалу, безперервно бомбардують поверхню катоду і віддають їй значну частину своєї енергії, що призводить до нагріву катоду, роль якого у даних процесах виконують самі деталі, що обробляються.

Крім того, при підвищенні тиску газу зростає температура нейтрального газу в позитивному стовпі розряду, досягаючи 1000...2000 К при тисках 1...10 кПа. В цих умовах стає імовірною передача частини його теплової енергії катоду, як активному тепловому стоку, шляхом теплопровідності газу через область катодного падіння потенціалу, що відділяє позитивний стовп від катоду, протяжність якої при вказаних тисках зменшується до долей міліметра.

Така сумарна дія двох механізмів нагріву оброблюваних деталей суттєво підвищує ефективність нагріву тліючим розрядом, коефіцієнт корисної дії якого, як джерела нагріву, досягає 0,7...0,8.

Схема нагріву тіл тліючим розрядом наведена на рис. 2.3. Анод може виконуватись із металевого дроту або стрічки і розташовується на відстані 0,01...0,1 м від поверхні деталі.



- 1, 2 – деталі, що нагріваються (катод);
- 3 – катодна пляма розряду;
- 4 – анод;
- j – густина струму в катодній плямі.

Рисунок 2.3 – Схема нагріву тіл тліючим розрядом

Тліючий розряд можна охарактеризувати як постійнодіюче, нормально розподілене джерело теплоти. Специфічною властивістю тліючого розряду як джерела поверхневого нагріву є можливість роздільної зміни в широких межах густини теплової енергії, що поступає у деталі, і площі нагрівання, яка визначається площею катодної плями на поверхні деталей. Цю властивість можна проілюструвати схемами розташування розрядного світіння на поверхні деталі (рис. 2.4). Катодне світіння розряду показане

штрихуванням. Збільшення струму або зменшення тиску газу призводять до розширення площі нагрівання і навпаки.

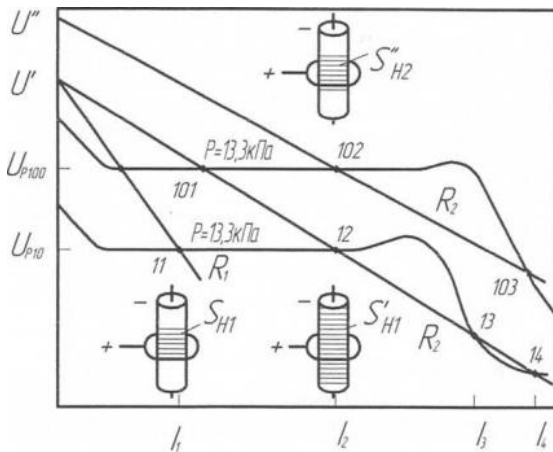


Рисунок 2.4— Схема зміни площі нагрівання тліючим розрядом S_H при збільшенні струму розряду I (S'_{H1} , S''_{H2}) та тиску газу P (S'_{H2} , S''_{H2})

2.2 Порядок виконання роботи

- 2.2.1. Встановити у робочій камері оброблювану деталь.
- 2.2.2. Встановити анод розряду відносно деталі.
- 2.2.3. Відкачати повітря з робочої камери до тиску менше 133 Па.
- 2.2.4. Ввімкнути джерело живлення і поступово підвищуючи напругу на його виході запалити тліючий розряд.
- 2.2.5. Підвищити тиск газу в камері до 1...3 кПа і встановити зміною напруги джерела заданий струм розряду.
- 2.2.6. Здійснити нагрів деталі, контролюючи її температуру через кожні 30...60 с.
- 2.2.7. Побудувати графік температур за експериментальними даними.

2.3 Зміст звіту

- 2.3.1. Назва та мета роботи.
- 2.3.2. Теоретичні відомості.
- 2.3.3. Результати вимірювань.
- 2.3.4. Висновки.

2.4 Контрольні питання

- 2.4.1. Умови запалювання і існування тліючого розряду.
- 2.4.2. Різновиди тліючого розряду.
- 2.4.3. Структура тліючого розряду.
- 2.4.4. Механізм нагріву тліючим розрядом

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ПЛАЗМОВА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомлення з обладнанням та технологією плазмового різання металів

3.1. Інформація до самостійної підготовки

Плазма – стан речовини, що представляє собою частково або повністю іонізований газ, який складається з нейтральних частинок, позитивних та негативних зарядів із однаковою концентрацією. Плазма володіє електричною провідністю (але електрично нейтральна), високою теплопровідністю і теплоємністю.

Для цілей зварювання або різання плазму отримують пропусканням газу через електричний розряд між двома електродами. При цьому під дією електричного поля від атома газу відривається електрон і у просторі виникають дві заряджені частинки: вільний електрон та позитивний іон.

Для створення іонізованого потоку застосовують дуговий розряд значної довжини, що збуджується між двома електродами. Дуга горить у замкненій циліндричній камері, стінки якої інтенсивно охолоджуються. Охолодження зовнішньої поверхні стовпа дуги викликає його контракцію (відшнуровування) від стінок камери, внаслідок чого зростає густина струму у дузі і температура газу у стовпі дуги суттєво підвищується, досягаючи значень 10000...20000 К, достатніх для нагріву виробів в процесах зварювання. Камера закінчується циліндричним отвором (соплом), розташованим співвісно із електродом (рис. 3.1).

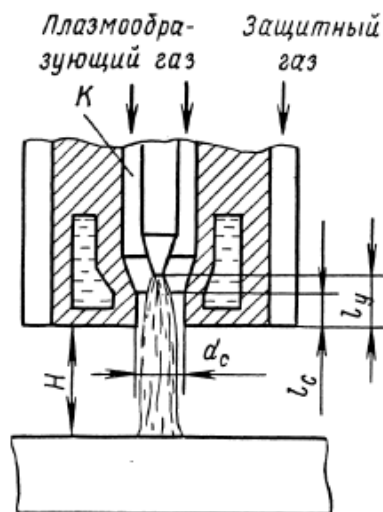


Рисунок 3.1– Схема плазмотрона

Газ, що подається в камеру під тиском, проходячи через сопло, охолоджує і стискає стовп дуги, забезпечуючи його теплову та електричну ізоляцію від стінок сопла.

Пристрої для отримання плазми звать плазмотронами, а газ, що подається у плазмотрон та іонізується, зветься плазмо утворюючим газом.

Мається декілька схем плазмотронів для отримання плазмового струменя: роздільне сопло та канал, плазмовий струмінь виділений із стовпа дуги (рис. 3.2,а); суміщені сопло і канал, плазмовий струмінь виділений із стовпа дуги (рис. 3.2,б); сопло і канал суміщені зі струменем, що співпадає із стовпом дуги (рис. 3.2,в).

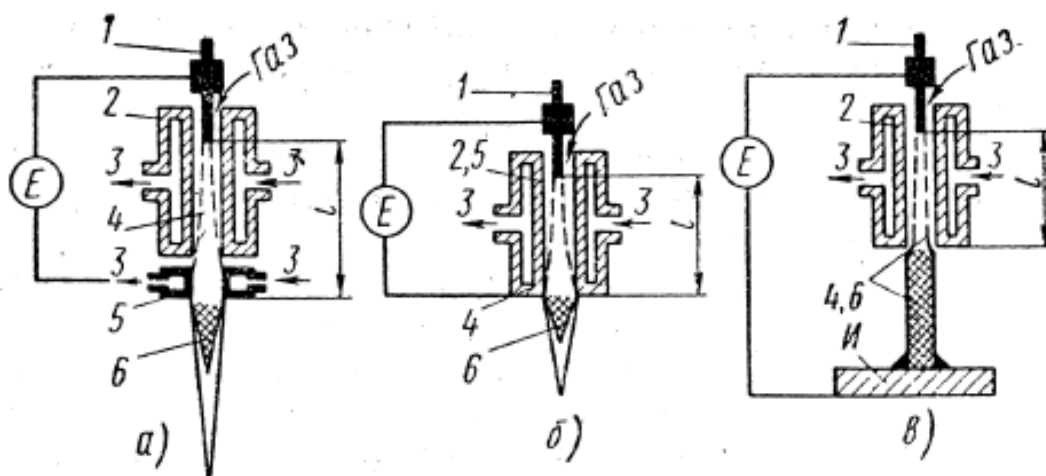


Рисунок 3.2– Схеми різання плазмовим променем та плазмовою дугою

Плазмовий струмінь створюється луговим розрядом 4 (рис. 2,а), що збуджується між електродом 1, який виконує роль катода, та електродом 5, на який подається позитивний потенціал, з отвором, виконуючим роль сопла. Дуговий розряд горить в каналі 2, електрично ізолюваному від сопла і електрода 5. Крізь канал вздовж стовпа дуги пропускається газ, який проходячи від катода до сопла через плазму дуги, іонізується і виходить з сопла у вигляді яскравого променя 6.

При створенні плазмового променя за схемою із суміщеними каналом і соплом (рис. 3.2,б), анодна пляма дуги в залежності від витрати газу розташовується або на бічній поверхні каналу, або на торці сопла. Поток газу плазма дуги виноситься через сопло назовні.

В обох випадках плазмовий струмінь, виділений із стовпа дуги, застосовують як незалежне джерело теплоти для зварювання або різання тонколистових металів та не електропровідних матеріалів.

При обробці плазмовим струменем електропровідних металів значної товщини для збільшення теплової потужності, що вводиться у виріб, позитивний полюс джерела приєднується безпосередньо до виробу (рис. 2,в). В цьому випадку плазмовий промінь повністю співпадає із струмоведучим стовпом дуги, тому такий промінь звуть плазмовою дугою.

У якості плазмо утворюючого газу застосовують аргон або азот та їх суміш із воднем (до 35% H₂).

Для забезпечення тривалої роботи плазмотронів застосовують катоди з тугоплавких матеріалів (С, Мо, W, Zr, Hf).

Ефективну теплову потужність плазмового променя регулюють зміною струму і напруги дуги, витрати і складу газу, діаметра сопла, відстані між соплом і виробом.

3.2. Порядок виконання роботи

3.2.1. Ознайомитись із конструкцією плазморізальної машини.

3.2.2. Ознайомитись із будовою плазмотрону.

3.2.3. Здійснити процес різання металу.

3.2.4. Проаналізувати результати різання.

3.3. Оформлення звіту

3.3.1. Назва та мета роботи.

3.3.2. Теоретичні відомості.

3.3.3. Результати вимірювань.

3.3.4. Висновки.

3.4. Контрольні питання

3.4.1. Поняття і характеристики плазми.

3.4.2. Способи отримання плазми.

3.4.3. Конструкція плазмотрона.

3.4.4. Способи плазмового різання.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомлення з обладнанням та технологією електронно-променевої обробки матеріалів

4.1. Інформація до самостійної підготовки

Електронний промінь – це потік електронів, розігнаних у полі високої напруги до значних швидкостей і сконцентрованих до необхідної густини енергії.

Отримання електронів, їх прискорення в електростатичному полі, фокусування і відхилення пучка здійснюється пристроєм, що зветься електронно-променевою гарматою.

Вільні електрони отримують за рахунок їх термоелектронної емісії з одного з електродів електронно-променевої гармати – вольфрамового катода, який розжарюється до температур вище 2000°C. Термоелектрони прискорюються у електричному полі між катодом та анодом гармати і набувають швидкість

$$v_e = \frac{2e}{m_e} U_{\text{пр}} \approx 600 \overline{U_{\text{пр}}}, \text{ км/с}$$

де $U_{\text{пр}}$ – прискорююча напруга, В.

При зустрічі з анодом (або з оброблюваним виробом) кінетична енергія електронів перетворюється у теплову, тобто витрачається на нагрів виробу. Загальна потужність електронного пучка визначається добутком прискорюючої напруги на струм пучка

$$N_n = U_{\text{пр}} I_n$$

Відповідно, регулювати потужність електронного пучка можливо зміною як прискорюючої напруги, так і струму пучка. На практиці застосовують, в основному, перший спосіб.

Електронна гармата, у якій маютья тільки два електроди – катод і анод, зветься двохелектродними або однокаскадними. При застосуванні додаткового прискорюючого електроду гармата стає трьохелектродною і має два каскади прискорення.

У однокаскадних електронно-променевих гарматах (рис. 4.1) електрони, емітовані катодом 1, формуються у пучок 3 тільки за допомогою прикатодного електроду 2, без застосування додаткових фокусуєчих систем. Анодом слугує сам виріб 4.

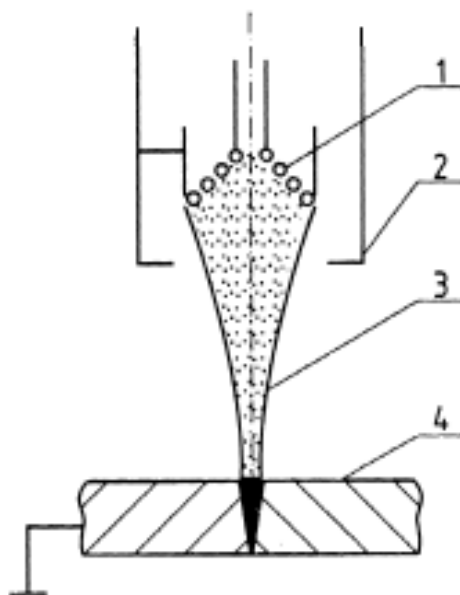


Рисунок 4.1– Схема однокаскадної електронно-променевої системи

Поряд із простотою конструкції така гармата має ряд суттєвих недоліків:

1. Однокаскадна електростатична система фокусування не може забезпечити формування потужного електронного пучка з високою густиною енергії. Тому за допомогою такої гармати можливе зварювання металів незначної товщини (1...2 мм).
2. Мала відстань між катодом і оброблюваним виробом недостатня для візуального спостереження за процесом і корекції положення пучка відносно виробу.

Технологічні та електронно-оптичні характеристики гармати з однокаскадним електростатичним фокусуванням підвищуються при введенні у її конструкцію прискорюючого електроду (аноду), що знаходиться під потенціалом виробу (рис. 4.2).

Застосування прискорюючого електроду 5 дозволяє підвищити відстань між катодом гармати і виробом. При цьому полегшується спостереження за процесом обробки, зменшується імовірність електричних пробіїв між катодом і анодом або виробом, що підвищує стабільність процесу.

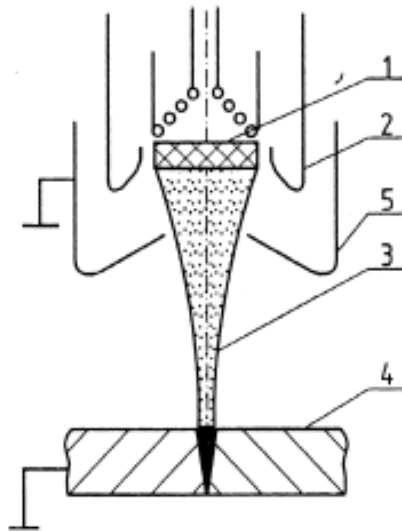


Рисунок 4.2– Схема двохкаскадної електронно-променевої системи

Найбільш широке застосування отримали багатокаскадні електронно-променеві гармати із комбінованим (електростатичним та електромагнітним) фокусуванням електронного пучка, для чого до складу гармати вводять магнітні лінзи.

За рівнем прискорюючої напруги електронно-променеві гармати поділяють на низьковольтні ($U_{пр}$ менше 30 кВ), із проміжною прискорюючою напругою ($U_{пр} = 30 \dots 60$ кВ) та високовольтні ($U_{пр}$ більше 60 кВ).

Для зменшення втрат енергії електронами при їх зіткненнях з атомами та молекулами середовища процес електронно-променевої обробки здійснюється у вакуумі $10^{-2} \dots 10^{-4}$ Па.

Електронний промінь як інструмент застосовується в процесах поверхневої термічної обробки металів, зварюванні, термічному нанесенні вакуумних покриттів.

4.2. Порядок виконання роботи

4.2.1. Ознайомитись із будовою електронної гармати.

4.2.2. Ознайомитись із джерелами живлення для електронно-променевого процесу.

4.2.3. Провести плавлення електронним променем металевого зразка.

4.3. Зміст звіту

4.3.1. Назва та мета роботи.

- 4.3.2. Теоретичні відомості.
- 4.3.3. Результати вимірювань.
- 4.3.4. Висновки.

4.4. Контрольні питання

- 4.4.1. Що зветься електронною гарматою.
- 4.4.2. Способи отримання вільних електронів.
- 4.4.3. Механізм нагріву електронним променем.
- 4.4.4. Конструкція одно- та двохкаскадних електронно-променевих систем.
- 4.4.5. Недоліки однокаскадних систем.
- 4.4.6. Переваги двох- та багатокаскадних систем.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ІОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомлення із технологією та обладнанням іонно-променевої обробки матеріалів

5.1. Інформація до самостійної підготовки

Джерела іонів широко застосовуються в технологічних процесах виробництва мікроелектронних пристроїв (імплантація електричних зарядів), металургії (поверхневе легування металів та сплавів), іонній обробці поверхонь (шліфування, фрезерування) і т.д.

Принцип дії іонних джерел заснований на різних методах отримання позитивних іонів: іонізацією газу електронним пучком, газовим розрядом, високочастотним електричним або електромагнітним полем.

У всіх іонних джерелах у якості робочої речовини застосовується нейтральний газ, що подається у робочу камеру.

Найбільш простими і розповсюдженими є іонні джерела на основі газових розрядів різного виду. Одним з них є тліючий розряд із холодним катодом у магнітному полі (розряд Пенінга).

Розрядна система Пенінга представляє собою два протилежно розташованих холодних електроди 1 та 2, що виконують роль катодів, та анод 3, виконаний у вигляді кільця або циліндра (рис. 5.1). Система знаходиться у магнітному полі, паралельному осі приладу.

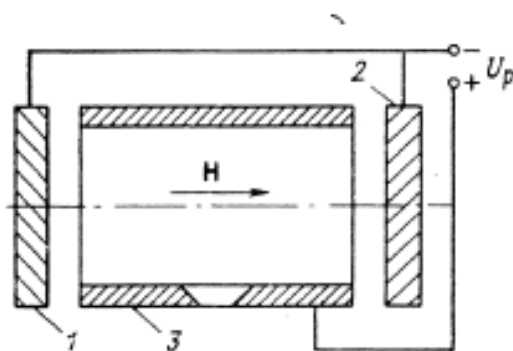


Рисунок 5.1– Схема розрядної системи Пенінга

При накладанні достатньої напруги, що перевищує напругу запалювання тліючого розряду, у між електродному просторі, заповненому газом при

незначному тиску, виникає самостійний газовий розряд. Усталений режим розряду характеризується потенціалом горіння U_a та струмом

$$I_a = I_+ (1 + \gamma)$$

де γ – коефіцієнт іонно-електронної емісії, що залежить від енергії іонів і стану поверхні катодів;

I_+ – іонний струм, що йде на обидва катода.

В інтервалі енергій іонів $0 \dots 1$ кВ $\gamma < 1$, що свідчить про те, що такий розряд характеризується значною величиною відношення I_+/I_a іонного струму до розрядного. В розряді Пенінга це відношення перевищує 0,75 і може наближатись до одиниці. Тому стаціонарні іонні джерела із холодним катодом звичайно працюють при порівняно низьких розрядних струмах.

Для підвищення розрядного струму необхідно знижувати енергію іонів, бомбардуючи катод, і частки іонного струму на катод. Ця умова реалізується в системі Пенінга при застосуванні порожнистого катода (рис. 5.2).

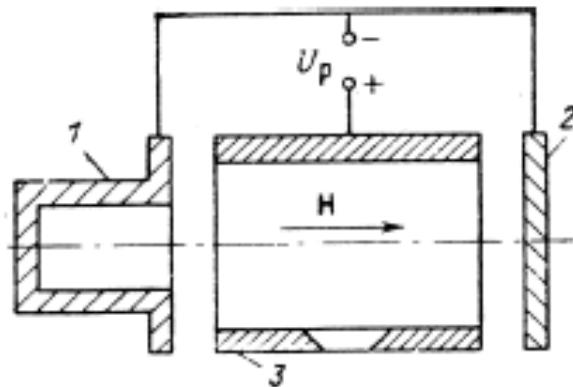


Рисунок 5.2– Схема розрядної системи Пенінга із порожнистим катодом

Наявність порожнистого катода активізує осциляцію електронів, що призводить до підвищення ступеня іонізації газу в порожнині і росту розрядного струму. В результаті здійснюється перебудова розряду (ділянка АВ на рис. 5.3), що супроводжується зростанням струму, зниженням напруги горіння розряду. У т. А на рис. 5.3 виконується умова розриву іонної оболонки в області апертури у катоді. Проникаюча всередину катодної порожнини плазма слугує джерелом іонів і ультрафіолетового випромінювання. Витягування пучка іонів здійснюється через отвір у аноді радіальним електричним полем, перпендикулярним за напрямком магнітному полю. Для прискорення іонів у промені між анодом та деталлю прикладається потенціал $1 \dots 10$ кВ.

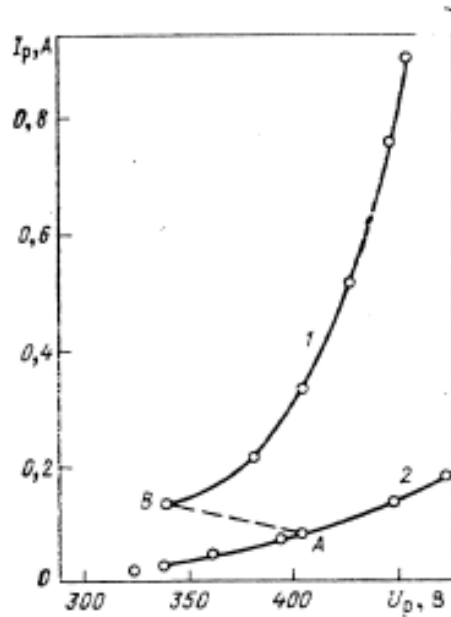


Рисунок 5.3– Вольт-амперна характеристика розряду

5.2 Порядок виконання роботи

- 5.2.1. Ознайомитись із будовою і принципом роботи іонно-променевого джерела.
- 5.2.2. Ознайомитись із системою живлення і керування іонним джерелом.
- 5.2.3. Здійснити іонну обробку металевого зразка.
- 5.2.4. Проаналізувати результати обробки.

5.3 Зміст звіту

- 4.3.1. Назва та мета роботи.
- 4.3.2. Теоретичні відомості.
- 4.3.3. Результати вимірювань.
- 4.3.4. Висновки.

5.4 Контрольні питання

- 5.4.1. Що представляє собою розрядна система Пенінга.
- 5.4.2. Розрядна система Пенінга із порожнистим катодом.
- 5.4.3. Як визначається частка іонного струму у загальному струмі розряду.
- 5.4.4. Як формується іонний промінь.

Перелік рекомендованих джерел

1. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротехнологические установки. –М.: Высшая школа, 1988.
2. Евтюкова И.П. Электротехнологические промышленные установки. – М.: Энергоиздат. -1982.
3. Фомичев Е.П. Электротехнологические промышленные установки. – Киев: Вища школа, 1979.

Зміст

1. Лабораторна робота №1. Очищення металевих та неметалевих поверхонь в плазмі газового розряду.....	3
2. Лабораторна робота №2. Дослідження способу нагріву в плазмі тліючого розряду.....	6
3. Лабораторна робота №3. Плазмова обробка матеріалів.....	11
4. Лабораторна робота №4. Дослідження електронно-променевої обробки матеріалів.....	14
5. Лабораторна робота №5. Дослідження іонно-променевої обробки матеріалів.....	18
Перелік рекомендованих джерел.....	21