

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Чернігівська політехніка»
Кафедра технологій зварювання та будівництва

ТЕХНОЛОГІЯ ТОНКИХ ПЛІВОК

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів
вищої освіти за спеціальністю 131 «Технічна механіка», освітньо-
науковою програмою "Технології та устаткування зварювання"**

Затверджено на засіданні
кафедри технологій зварювання та
будівництва
Протокол № 14 від 18.06.2021 р.

Чернігів НУ «ЧП» 2021

Технологія тонких плівок. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 131 «Технічна механіка», освітньо-науковою програмою "Технології та устаткування зварювання" /Укл. Болотов Г.П.,Болотов М.Г., Руденко М.М. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 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

Руденко Михайло Миколайович, старший викладач кафедри технологій зварювання та будівництва

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

Рецензент: Ганєєв Тимур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1..... ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА НЕМЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ПОКРИТТІВ	5
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2..... НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ТЕРМІЧНИМ ВИПАРОВУВАННЯМ У ВАКУУМІ	8
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3..... ТЕРМОІОННЕ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК	11
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4..... НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК МЕТОДОМ КАТОДНОГО РОЗПИЛЕННЯ	14
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5..... МАГНЕТРОННЕ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК	17
6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6..... МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЇ ТОНКИХ ПЛІВОК	20
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	22

ПЕРЕДМОВА

Мета методичних вказівок – допомогти студентам закріпити та поповнити теоретичні знання практичними дослідженнями сучасних технічних засобів та технологічних процесів отримання тонких металевих плівок на поверхні металів та неметалів, способів підготовки поверхонь до нанесення плівок, визначення адгезії плівок до поверхні. Кожна лабораторна робота має розділи, які стосуються змісту досліджень, що проводяться, та порядок виконання роботи. Представлений цикл робіт охоплює основні способи отримання тонких плівок нанесенням їх у вакуумі або розрідженому газовому середовищі із застосуванням різних фізичних та електрофізичних процесів, що дає змогу порівнювати їх технічні та технологічні характеристики.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ТА НЕМЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ПОКРИТТІВ

Мета роботи: ознайомитися з методикою та устаткуванням іонної обробки поверхонь

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).

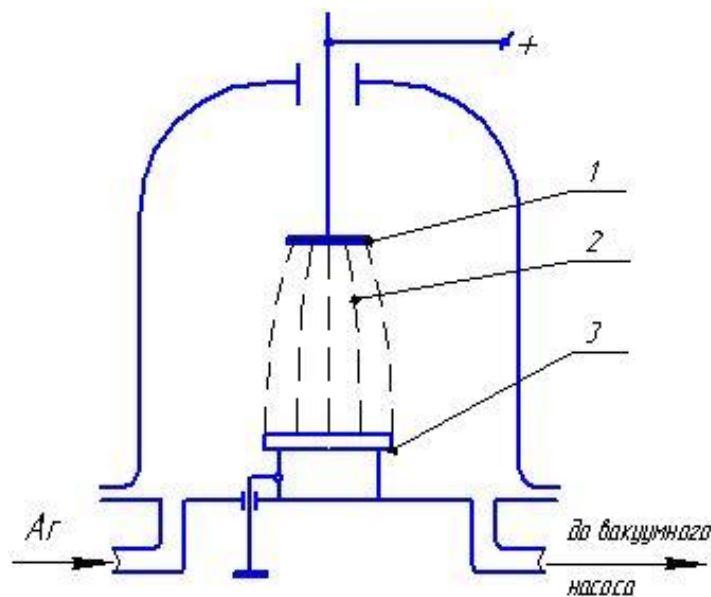
Забруднення поверхні мають як неорганічне, так і органічне походження. Неорганічні забруднення видаляють ретельним промиванням в проточній воді. Забруднення органічного походження представляють собою тонку жирову плівку, що покриває поверхню суцільним шаром. Видаляють такі забруднення хімічним способом 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

НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ТЕРМІЧНИМ ВИПАРОВУВАННЯМ У ВАКУУМІ

Мета роботи: ознайомлення з устаткуванням та технологією вакуумного термічного нанесення тонких плівок

2.1 Інформація для самостійної підготовки

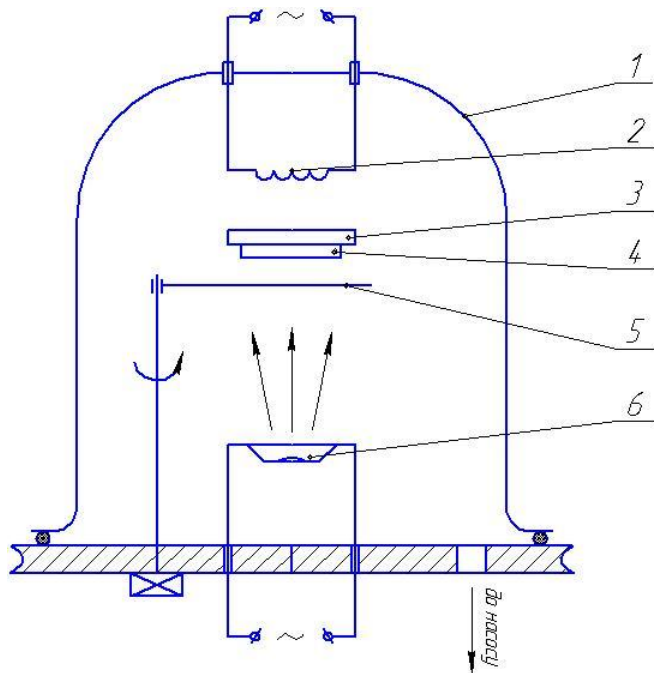
Метод термічного випаровування є найбільш поширеним при отриманні тонких плівок різних матеріалів у вакуумі. Перевагами цього методу являються: висока швидкість осаджування матеріалів у високому вакуумі, простота технологічних операцій, наявність сучасного високопродуктивного обладнання. Однак, цьому методу властиві такі недоліки, як труднощі забезпечення відтворення властивостей плівок при осаджуванні речовин багатокomпонентного складу, появи бризок розплавленого металу або крупних часток на поверхні осаджування, труднощі випаровування тугоплавких матеріалів, висока інерційність випаровувачів та їх відносно незначний термін роботи.

Метод термовакuumного напилення заснований на створенні спрямованого потоку пари речовини і наступній її конденсації на поверхнях підкладинок, що мають температуру нижче температури джерела пари. Плівка при конденсації формується із окремих атомів або молекул пари речовини. Процес термовакuumного напилення складається з чотирьох етапів: 1) утворення пари речовини; 2) переміщення частинок пари від джерела до підкладинок; 3) конденсація пари на підкладинках; 4) створення зародків та ріст плівки.

Схема внутрікамерного пристрою термовакuumного напилення наведена на рисунку 2.1.

Процес термічного випаровування може здійснюватися випаровуванням: а) з резистивних випаровувачів (дротових, стрічкових та інших); б) з тиглів із радіаційним та високочастотним індукційним нагрівом; в) за допомогою сфокусованого електронного променя.

Рівномірність товщини плівок по площі підкладинок при застосуванні більшості простих дротових, стрічкових та тигельних випаровувачів незадовільна. Товщина плівки максимальна в центрі підкладинки, тобто на ділянці, що безпосередньо розташована над випаровувачем, і зменшується до периферії підкладинки. Рівномірність товщини плівок можливо підвищити за рахунок збільшення відстані між випаровувачем та підкладинкою, але при цьому знижується швидкість напilenня.



1 – вакуумна камера; 2 – нагрівач підкладинок; 3 – тримач підкладинок; 4 – підкладинки; 5 – заслонки; 6 – випаровувач.

Рисунок 2.1 – Схема термічного випаровування у вакуумі

Температуру підкладинки в процесі напilenня встановлюють в межах 303...673 К, щоб забезпечити конденсацію пари та адгезію плівок до підкладинок. Нагрів підкладинок необхідний для десорбції шкідливих речовин (газів, вологи, мастила насосів), що являються основною причиною незадовільної адгезії. Температура підкладинки також впливає на структуру плівки і її характеристики.

2.2 Обладнання і матеріали

2.2.1 Установка вакуумного розпилення матеріалів УРМ-3;

- 2.2.2 Резистивні випаровувачі;
- 2.2.3 Матеріали для випаровування – алюміній, мідь.

2.3 Порядок виконання роботи

- 2.3.1 Встановити у вакуумній камері підкладинку і випаровувач.
- 2.3.2 Нанести у випаровувач речовину, що випаровується.
- 2.3.3 Створити у камері вакуум $10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па.
- 2.3.4 Увімкнути струм та розжарити випаровувач до температури плавлення речовини, що випаровується.
- 2.3.5 Здійснити напилення протягом 30...120с.

2.4 Зміст звіту

- 2.4.1 Назва роботи і її мета.
- 2.4.3 Обладнання та матеріали.
- 2.4.4 Порядок виконання роботи.
- 2.4.2 Необхідні теоретичні дані.
- 2.4.5 Експериментальні результати.
- 2.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі.

2.5 Питання для самоконтролю

- 2.5.1 Основні переваги та недоліки термовакuumного методу.
- 2.5.2 Основні етапи термовакuumного напилення.
- 2.5.3 Способи вакуумного випаровування.
- 2.5.4 Необхідність нагріву підкладинки в процесі нанесення плівок.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ТЕРМОІОННЕ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК

Мета роботи: Ознайомлення з технікою та устаткуванням іоннотермічного нанесення тонких плівок

3.1 Інформація для самостійної підготовки

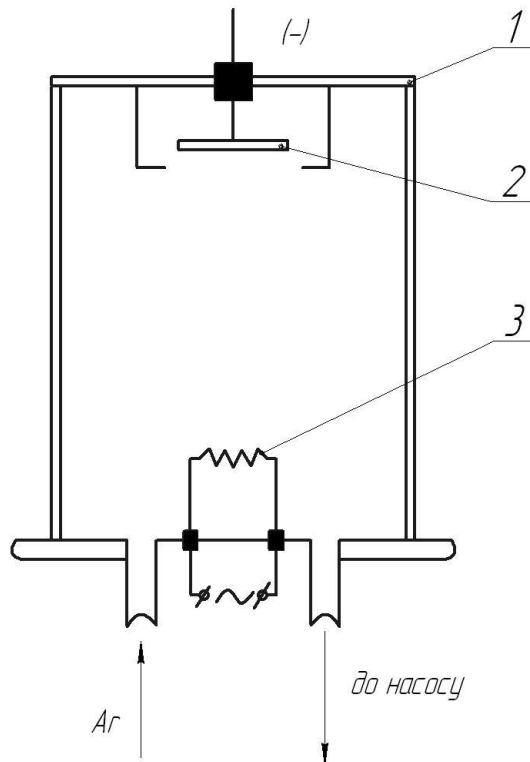
Термоіонне осаджування, яке називають також конденсацією з іонним бомбардуванням – це процес отримання тонких плівок та плівкових покриттів осаджуванням пара з плазмового джерела (термоіонного пристрою), який поступає на підкладку у вигляді двох компонентів – атомів та іонів. Термоіонне осаджування відноситься до таких процесів, у яких поверхня підкладки бомбардується потоком іонів високої енергії ($10 \dots 10^4$ eV). Іони такої енергії, бомбардують поверхню підкладки і плівки, що осаджується, можуть приймати участь в різних фізичних та фізико-хімічних процесах: викликати розпилення та очищення поверхні підкладки, розпиляти осаджувану плівку, стимулювати хімічні реакції на поверхні.

Іонно-термічне нанесення плівок засновано на термічному випаровуванні матеріалу та його іонному осаджуванні, тому всі термоіонні пристрої поділяють за способом отримання пара та методами іонізації. За цією класифікацією розрізняють пристрої:

- 1) із резистивним та електронно-променевим випаровуванням речовини із іонізацією її пари плазмою робочого газу;
- 2) резистивне та електронно-променеве випаровування речовини з іонізацією пари за допомогою ВЧ-індуктора (без участі робочого газу);
- 3) ВЧ термічне випаровування речовини з ВЧ-іонізацією її пари.

Схема установки термоіонного нанесення плівок показана на рисунку 3.1.

У вакуумній камері навпроти одне одного встановлюються термічний випаровувач та підкладка, на яку осаджуватиметься плівка. При розжарюванні випаровувача між ними утворюється потік речовини, що напилюється. Поступаючий у камеру аргон іонізується електричним полем, що виникає від високовольтного джерела між підкладкою та випаровувачем. Іони аргону, в свою чергу, іонізують пари речовини, які під впливом цього ж електричного поля осаджуються на підкладці.



1 – корпус вакуумної камери установки; 2 – підкладка; 3 – випаровувач
Рисунок 3.1 – Схема термоіонної установки

3.2 Обладнання та матеріали

- 3.2.1 Установка вакуумного розпилення УРМ-3;
- 3.2.2 Високовольтне джерело живлення;
- 3.2.3 Балон з аргонем.

3.3 Порядок виконання роботи

- 3.4.1 Ознайомитися з конструкцією термоіонного пристрою.
- 3.4.2 Розташувати у випаровувачі речовину, що випаровується.
- 3.4.3 Створити розрідження 5...10 Па у вакуумній камері.
- 3.4.4 Ввімкнути високовольтне джерело і встановити напругу 1000...2000 В.
- 3.4.5 Довести до розжарення випаровувач.
- 3.4.6 Здійснити нанесення плівки протягом 60...180 с.

3.4 Зміст звіту

- 3.4.1 Назва роботи і її мета.
- 3.4.3 Обладнання та матеріали.
- 3.4.4 Порядок виконання роботи.
- 3.4.2 Необхідні теоретичні дані.
- 3.4.5 Експериментальні результати.
- 3.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі

3.5 Питання для самоконтролю

- 3.5.1 В чому складається принцип термоіонного нанесення плівок.
- 3.5.2 Класифікація способів термоіонного осаджування.
- 3.5.3 Класифікація та принцип роботи термоіонного пристрою.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК МЕТОДОМ КАТОДНОГО РОЗПИЛЕННЯ

Мета роботи: Ознайомлення з методикою та устаткуванням катодного розпилення матеріалів із застосуванням діодної схеми розпилення.

4.1 Інформація для самостійної підготовки

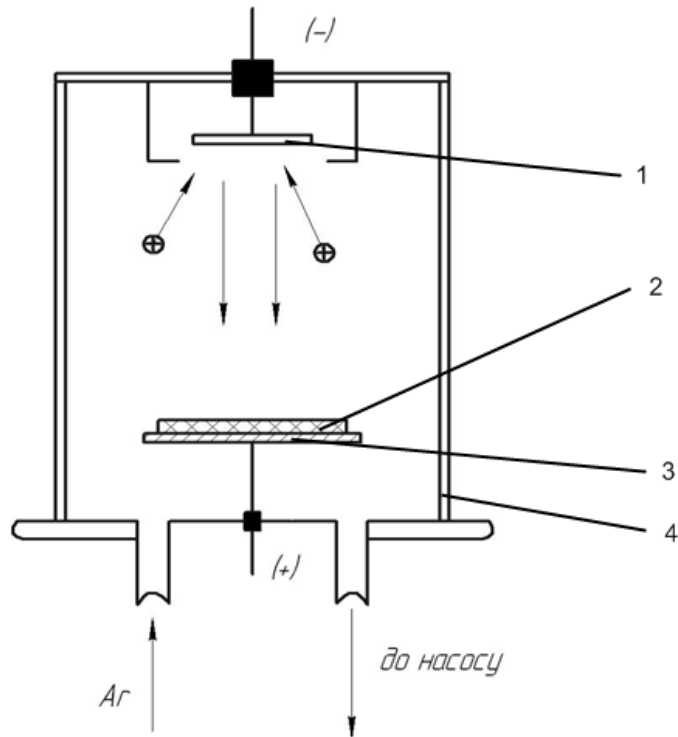
Катодне розпилення суттєво відрізняється від термічного випаровування. При катодному розпиленні плівка формується в газовому розряді при тисках $1 \dots 100$ Па і меншій, ніж при термічному випаровуванні, швидкості росту плівки.

Катодне розпилення засноване на тому, що потік позитивно заряджених іонів газу, що мають енергію від сотень до тисяч електрон-вольт, спрямовують на мішень, що виконана з матеріалу, що розпилюється. Іонним бомбардуванням з мішені вибиваються частинки речовини, які осідають на підкладці у вигляді тонкої плівки. Джерелом іонів служить самостійний тліючий розряд або плазма несамотійного розряду (звичайно аргон високої чистоти).

В залежності від способу іонізації газу, тобто створення плазми і розпилення мішені, іонні джерела поділяють на діодні, тріодні та магнетронні.

В діодних джерелах потік електронів, необхідний для іонізації робочого газу, утворюється в результаті автоелектронної емісії. В таких джерелах мішень, що бомбардується іонами газу, є водночас катодом розряду. Осаджування речовини здійснюється на підкладку, що розташована на аноді. Якщо мішень металічна, розпилення проводиться на постійному струмі, а якщо діелектрична – на змінному. У другому випадку при від'ємній полярності мішень розпилюється, а при додатній у неї змінюється накопичений від'ємний заряд.

Діодні системи (рис. 4.1) найбільш прості і складаються із катода – мішені 1, анода 3 та підкладки 2, розташованих в робочій камері 4, в якій спочатку створюється вакуум $10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па, далі в камеру напускають інертний газ до тиску $1,3 \dots 13$ Па. При подачі на електроди напруги $1 \dots 5$ кВ електрони з катода-мішені спрямовуються в сторону аноду, іонізуючи інертний газ, в результаті чого виникає самостійний тліючий розряд і утворюється плазма. Позитивні іони плазми прискорюючись електричним полем у проміжку катод-анод, прямують до катода-мішені та розпилюють її.



1 – катод-мішень; 2 – підкладка; 3 – анод; 4 – камера
Рисунок 4.1 – Схема діодного джерела розпилення

4.2 Обладнання та матеріали

- 4.2.1 Установа вакуумного розпилення матеріалів УРМ;
- 4.2.2 Блок живлення розряду БП-100;
- 4.2.3 Балон з аргоном;
- 4.2.4 Зразки.

4.3 Порядок виконання роботи

- 4.4.1 Встановити в камері анод із підкладкою та катод-мішень.
- 4.4.2 Створити в камері вакуум $10^{-3} \dots 10^{-4}$ Па.
- 4.4.3 Напустити в камеру аргон до тиску $1,3 \dots 13$ Па.

4.4.4 Ввімкнути джерело живлення БП-100 та запалити у камері тліючий розряд.

4.4.5 Встановити струм розряду 10...50 мА та здійснити напilenня протягом 100...300 с.

4.4 Зміст звіту

4.4.1 Назва роботи і її мета.

4.4.3 Обладнання та матеріали.

4.4.4 Порядок виконання роботи.

4.4.2 Необхідні теоретичні дані.

4.4.5 Експериментальні результати.

4.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі

4.5 Контрольні питання

4.5.1 Принцип катодного розпилення.

4.5.2 Способи іонізації робочого середовища.

4.5.3 Розпилення металевих та неметалевих мішеней.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

МАГНЕТРОННЕ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК

Мета роботи: ознайомитися з устаткуванням та технологією магнетронного розпилення та нанесення тонких плівок.

5.1 Теоретичні відомості

Магнетронні розпилювальні системи відносяться до систем розпилення діодного типу. Висока швидкість розпилення досягається збільшенням густини іонного струму за рахунок локалізації плазми у поверхні мішені, що розпилюється, за допомогою сильного поперечного магнітного поля.

Основними елементами пристрою є катод-мішень, анод та магнітна система (рис 5.1). Характерною особливістю є наявність замкненого магнітного поля у поверхні мішені, що дозволяє локалізувати плазму аномального тліючого розряду безпосередньо у мішені. Силкові лінії у вигляді дуг замикаються між полюсами магнітної системи. Поверхня мішені, що розташована між місцями входу та виходу силових ліній, інтенсивно розпилюється і має вигляд замкненої доріжки, геометрія якої визначається формою полюсів магнітної системи.

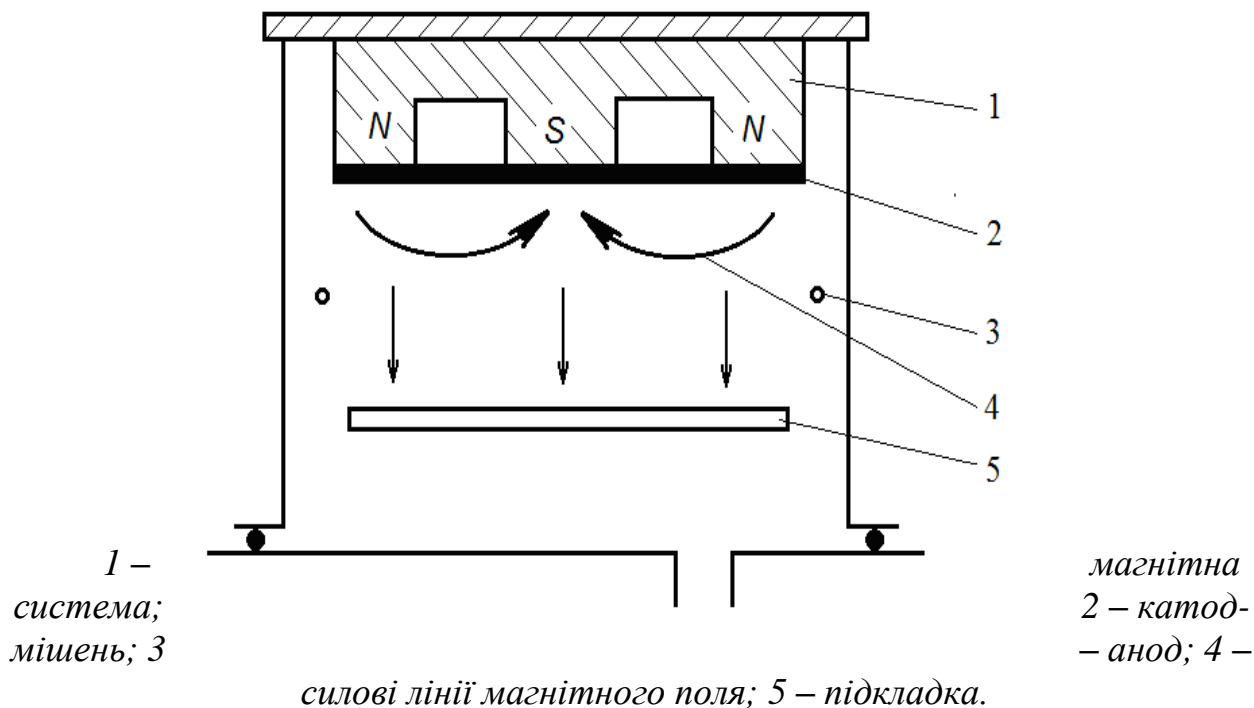


Рисунок 5.1 – Схема конструкції плоского магнетрону

При подачі постійної напруги між мішенню(від’ємний потенціал) та анодом(додатний або нульовий потенціал) виникає неоднорідне електричне поле і збуджується аномальний тліючий розряд. Емітовані з катоду під впливом іонного бомбардування електрони захоплюються магнітним полем. В результаті під дією взаємно перпендикулярних магнітного та електричного полів електронам надається складний циклоїдальний рух по замкненим траєкторіям у поверхні мішені.

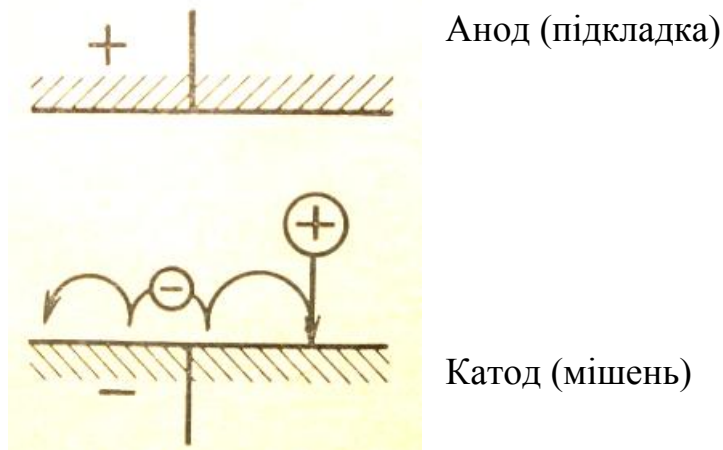


Рисунок 5.2– Вплив зхрещених електричного та магнітного полів на характер магнетронного розпилення

Електрони опиняються як би в “пастці”, що створена, з одного боку, магнітним полем, що повертає електрони на катод, а з другого – поверхнею мішені, яка відштовхує електрони, оскільки на неї поданий негативний потенціал. Електрони здійснюють циклічний рух в “пастці” до тих пір, поки не здійснять декілька іонізуючих зіткнень з атомами робочого газу, в результаті яких електрони втрачають свою енергію. Ці зіткнення призводять до зростання концентрації позитивних іонів у поверхні мішені, що збільшує інтенсивність іонного бомбардування мішені і викликає зростання швидкості розпилення.

Недоліком магнетронних систем є труднощі при розпиленні магнітних матеріалів і матеріалів з низькою теплопровідністю.

5.2 Обладнання та матеріали:

5.2.1 Установка вакуумного розпилення матеріалів УРМ із блоком магнетронів;

- 5.2.2 Блок живлення магнетрона БП-100;
- 5.2.3 Балон з аргоном;
- 5.2.4 Зразки.

5.3 Порядок виконання роботи

- 5.3.1 Встановити катод-мішень в магнетрон;
- 5.3.2 Встановити зразок, на який наноситься плівка.
- 5.3.3 Забезпечити розрідження в камері 1...10 Па.
- 5.3.4 Напустити в камеру аргон до тиску 30...50 Па.
- 5.3.5 Запалити тліючий розряд і провести напилення протягом 100...300 с.

5.4 Зміст звіту

- 5.4.1 Назва роботи і її мета.
- 5.4.3 Обладнання та матеріали.
- 5.4.4 Порядок виконання роботи.
- 5.4.2 Необхідні теоретичні дані.
- 5.4.5 Експериментальні результати.
- 5.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі

5.5 Питання для самоконтролю

- 5.5.1 Конструкція магнетронних систем розпилення.
- 5.5.2 Способи локалізації плазми в магнетроні.
- 5.5.3 Механізм іонізації газу в магнетроні.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЇ ТОНКИХ ПЛІВОК

Мета роботи: ознайомитися з методами дослідження міцності зчеплення тонких покриттів до металевої і неметалевої основи.

6.1 Інформація для самостійної підготовки

Метод липкої стрічки. Метод складається в накладанні на поверхню покриття спеціальної липкої стрічки із наступним відривом її. Якщо стрічка відривається разом з покриттям, то адгезію вважають незадовільною. На практиці цей метод застосований для дослідження адгезії до скла ряду металів, нанесених випаровуванням у вакуумі. Цей метод має якісний характер. Крім того, при добрій адгезії він непридатний.

Метод протягування навантаженої голки. Застосовується метод вимірювання адгезії шляхом протягування по поверхні із нанесеним покриттям навантаженої голки із хромистої сталі. Навантаження на голку, що має гладко округлений кінець, поступово збільшується до тих пір, поки не досягне критичної величини, при якій плівка відділяється і голка залишає чистий канал. Метод відрізняється високою точністю визначення критичного навантаження ($\pm 5\%$).

Метод нормального відриву. Адгезію вимірюють прикладанням сил, перпендикулярних поверхні розділу, при цьому покриття відривають від основного металу. Тонкі покриття наносять на підготовлену поверхню двох циліндричних зразків, покривають їх шаром клею та затискають в спеціальному пристрої. При цьому обидві намащені клеєм поверхні стискаються (рис 6.1)

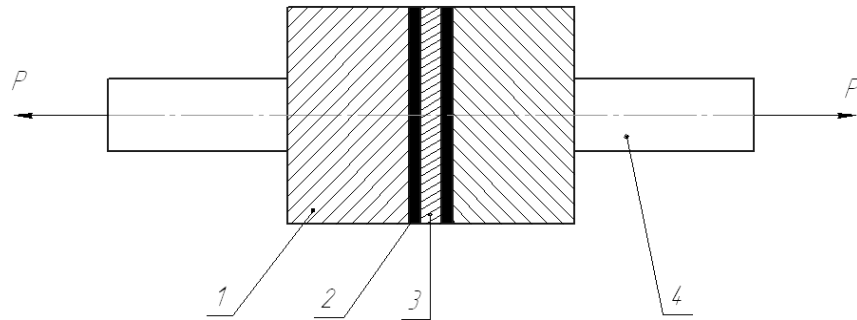
Після затвердіння клею зразок встановлюють в розривну машину і визначають величину міцності зчеплення покриття з основою. Міцність на розрив визначають за формулою.

$$\sigma = \frac{4P}{\pi D^2}, \quad (6.1)$$

де P – сила розтягування;

D – діаметр зразка.

Метод перегину. Для прискорених адгезійних випробувань користуються методом перегину та розтягування до розриву. Ці методи особливо придатні для випробувань листових матеріалів. Шари із незадовільною адгезією розтріскуються та відшаровуються, шари із відмінною адгезією не відшаровуються майже до руйнування основи.



1 – підготовлений зразок; 2 – покриття; 3 – прошарок клею; 4 – затискні цапфи.

Рисунок 6.1 – Зразок для визначення адгезії тонких покриттів.

6.2 Обладнання та матеріали:

- 6.2.1 Досліджувані зразки із шарами, нанесеними різними способами;
- 6.2.2 Липка стрічка;
- 6.2.3 Пристрій для випробування на розтягування;
- 6.2.4 Клей.

6.3 Порядок виконання роботи

- 6.3.1 Підготувати зразки до досліджень.
- 6.3.2 Нанести на поверхню зразків покриття вакуумним та магнетронним способами.
- 6.3.3 Визначити якість адгезії методом липкої стрічки.
- 6.3.4 Визначити величину адгезії методом нормального відриву.

6.4 Зміст звіту

- 6.4.1 Назва роботи і її мета.
- 6.4.3 Обладнання та матеріали.
- 6.4.4 Порядок виконання роботи.
- 6.4.2 Необхідні теоретичні дані.
- 6.4.5 Експериментальні результати.
- 6.4.6 Аналіз результатів і висновки по роботі

6.5 Питання для самоконтролю

- 6.5.1 Сутність та призначення методу липкої стрічки.
- 6.5.2 Визначення величини адгезії методом нормального відриву.
- 6.5.3 Сутність випробувань методом перегину.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. – М.: Энергоатомиздат, 1989. –328 с.
2. Костржицкий А.И., Лебединский О.В. Многокомпонентные вакуумные покрытия. – М.: Машиностроение, 1987. –208 с.
3. Попов В.Ф., Горин Ю.И. Процессы и установки электронно-ионной технологии. – М.: Высшая школа, 1988. –255 с.
4. Ройх И.Л., Колтунова Л.Н. Защитные вакуумные покрытия на стали. – М.: Машиностроение, 1971. –280 с.