

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра металознавства та термічної обробки**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Мирослав КАРПЕЦЬ
« ____ » _____ 2020 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Металознавство та комп'ютерне
моделювання процесів термічної обробки»
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»**

**на тему: «Структурний стан та властивості вакуумно-дугових покриттів нітриду
молібдену»**

Виконала:
студентка VI курсу, групи ФТ-91мп
Білик Анастасія Вікторівна _____

Керівник:
В.о. зав.каф., д.ф-м.н., проф.
Карпець Мирослав Васильович _____

Консультант :
з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
зав. каф., д.т.н., проф.
Левченко Олег Григорович _____
з економічно-організаційного розділу, розробка стартапу

доцент, к.е.н., доцент
Нараєвський Сергій Вікторович _____

Нормоконтроль:
доцент, к.т.н., доцент
Гриненко Катерина Михайлівна _____

Рецензент:
доцент, к.т.н., доцент
Солодкий Євген Васильович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра металознавства та термічної обробки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою.

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація - «Металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

« 01 » вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Білик Анастасії Вікторівни

1. Тема дисертації «Структурний стан та властивості вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену»,

науковий керівник дисертації Карпець Мирослав Васильович, в.о. зав.каф., д.ф-м.н., проф.,

затверджені наказом по університету від «16» листопада 2020 р. №3313-с

2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження: вакуумно-дугові покриття нітриду молібдену.

4. Вихідні дані: дані літературного огляду та результати переддипломної практики.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: літературний огляд, матеріали та методику досліджень, експериментальну частину, організаційно-економічну частину, розділ з охорони праці та безпеки навколишнього середовища.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: загальні відомості, методи отримання нітридів молібдену, азотування молібдену, переваги плазми стиснутого вакуумно-дугового розряду, структура вакуумно-дугових покриттів, властивості покриттів.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці та безпека надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г. зав. каф., професор		
Економічно-організаційний розділ, розробка стартапу	Нараєвський С.В., доцент		
Нормоконтроль	Гриненко К.М., доцент		

9. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Визначення та узгодження теми магістерської дисертації	04.09.2020	
2.	Проведення літературного огляду	18.09.2020	
3.	Розробка методики експериментів	25.09.2020	
4.	Підготовка першого та другого розділів	16.10.2020	
5.	Отримання покриттів вакуумно-дуговим методом	22.10.2020	
6.	Дослідження структурного стану та властивостей покриттів за допомогою дифрактограм	23.10.2020	
7.	Обробка результатів та підготовка третього розділу	26.10.2020	
8.	Розрахунок організаційно-економічної частини	16.11.2020	
9.	Розрахунок питань охорони праці	30.11.2020	
10.	Оформлення магістерської дисертації	16.12.2020	

Студент

Анастасія БІЛИК

Науковий керівник дисертації

Мирослав КАРПЕЦЬ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 сторінка, 10 таблиць, 16 рисунків, 6 формул, 32 літературних джерела.

ВАКУУМНО-ДУГОВИЙ МЕТОД, ДИФРАКТОГРАМА,
НАНОКРИСТАЛІЧНІ ПОКРИТТЯ, НІТРИД МОЛІБДЕНУ, СТРУКТУРНИЙ
СТАН

Об'єкт досліджень: вакуумно-дугові покриття нітриду молібдену.

Мета роботи: дослідження впливу параметрів осадження на структурний стан та властивості покриттів нітриду молібдену.

Методи дослідження: металографічний аналіз, вакуумно-дугове напilenня, покриття в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду, рентгеноструктурний аналіз, визначення твердості та коефіцієнту тертя.

Результати дослідження: отримані вакуумно-дугові Мо-N покриття вакуумно-дуговим напilenням та в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду, та вперше досліджено властивості нітриду молібдену, який отриманий останнім методом.

ABSTRACT

Explanatory note: 61 pages, 10 tables, 23 figures, 6 formulas, 32 literary sources.

VACUUM-ARC METHOD, DIFFRACTOGRAPH, NANOCRYSTALLIC COATINGS, MOLYBDENE NITRID, STRUCTURAL STATE

Object to research: vacuum-arc coatings of molybdenum nitride.

Purpose: to study the influence of deposition parameters in the structural state and properties of molybdenum nitride coatings.

Research methods: metallographic analysis, vacuum-arc spraying, obtaining coatings in plasma of compressed vacuum-arc discharge, X-ray diffraction analysis, determination of hardness and coefficient of friction.

Research result: vacuum-arc Mo-N coatings were obtained by vacuum-arc sputtering and in the plasma of compressed vacuum-arc discharge, and the properties of molybdenum nitride obtained by the latter method were studied for the first time.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Загальні відомості та основні методи отримання нітридів молібдену	9
1.2 Азотування молібдену	10
1.3 Методи вакуумно-дугового напилення	12
1.3.1 Метод термовакuumного напилення	13
1.3.2 Метод іонного розпилення.....	14
1.3.3 Метод дугового осадження	16
1.3.4 Метод магнетронного напилення.....	17
1.4 Отримання вакуумно-дугового Mo-N покриття	19
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	21
2.1 Мікроструктурний аналіз	21
2.2 Вакуумно-дуговий метод	22
2.3 Рентгеноструктурний аналіз	24
2.4 Визначення мікротвердості та коефіцієнту тертя.....	25
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	27
3.1 Структура вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену.....	27
3.2 Властивості покриттів нітриду молібдену, отриманих методом вакуумно-дугового напилення.....	28
3.3 Властивості покриттів нітриду молібдену, отриманих в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду	32
3.4 Залежність властивостей від вмісту азоту в камері.....	33
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	35
4.1 Наукового-технічна актуальність теми дослідження.....	35
4.2 Мета і завдання науково-дослідницької роботи	35
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	36
4.3.1 Витрати на оплату праці.....	36
4.3.2 Визначення суми єдиного соціального внеску	38
4.3.3 Витрати на матеріали.....	39

4.3.4 Витрати на спеціальне обладнання	39
4.3.5 Витрати на службові відрядження	40
4.3.6 Інші прямі невраховані витрати	40
4.3.7 Розрахунок накладних витрат.....	40
4.3.8 Визначення планової калькуляції собівартості НДР.....	41
4.4 Економічна ефективність науково-дослідної роботи.....	42
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
5.1 Аналіз параметрів приміщення.....	46
5.2 Аналіз мікроклімату в робочій зоні приміщення	47
5.3 Аналіз освітленості приміщення	49
5.4 Аналіз впливу шуму та вібрацій.....	51
5.5 Аналіз забрудненості повітря	52
5.6 Інженерні рішення.....	53
5.6.1 Вентиляція приміщення лабораторії.....	53
5.6.2 Електробезпека.....	53
5.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях	54
5.7.1 Пожежна безпека.....	54
5.7.2 Безпека в аварійних ситуаціях.....	55
ВИСНОВКИ.....	57
CONCLUSIONS	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ВСТУП

За останні роки опублікований цілий ряд видань, які присвячені дослідженню різних властивостей нанокристалічних покриттів нітриду молібдену: зносостійкості, надпровідності та каталітичної активності. Але є дві унікальні властивості таких покриттів, що виділяють їх в матеріал особливого класу. Нанокристалічні покриття нітриду молібдену можуть мати надвисоку твердість та низький коефіцієнт тертя. Такі покриття мають низьку розчинність в нітридні фазі кольорових металів, таких як мідь. Це дозволяє нітриду молібдену висувати себе як чудового кандидата для нанесення зміцнюючих покриттів на формуючий інструмент, що використовується для обробки кольорових металів та сплавів. Висока розчинність молібдену в сталях забезпечує високу адгезію нанокристалічного нітриду молібдену як функціонального покриття до поверхні формуючого інструменту. Таким чином високі механічні характеристики і непогана адгезія до формуючого інструменту, а також хімічна інертність по відношенню до кольорових металів роблять нанокристалічні покриття з нітриду молібдену особливо привабливими для промислових підприємств, особливо для тих, що займаються обробкою кольорових металів.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні відомості та основні методи отримання нітридів молібдену

В системі Mo-N, відповідно до діаграми стану молібден-азот (рис. 1.1), можливе існування 3-х термодинамічно стабільних фаз: β -фаза $\text{Mo}_5\text{N}_2(\text{MoN}_{0,4})$, $\gamma\text{-Mo}_2\text{N}$ і $\delta\text{-MoN}$.

β -фаза стійка при температурі вище 600 °С, а нітриди Mo_2N і MoN до кімнатної температури. Стабільність таких нітридів залежить від тиску азоту, при атмосферному тиску MoN стійка до 940 °С, а фаза Mo_2N – до 1150 °С. Нітрид Mo_2N має дві алотропні модифікації: низькотемпературну β з тетрагональною кристалічною решіткою і високотемпературну кубічну γ -модифікацію. γ -фазу можна отримати при швидкому охолодженні нітриду молібдену необхідного складу. Температура фазового перетворення $\beta\text{-Mo}_2\text{N} \rightarrow \gamma\text{-Mo}_2\text{N}$ знаходиться в інтервалі 500-700 °С. Розчинність азоту в молібдені при кімнатній температурі досить низька. Ця система підпорядковується закону Сівертса, тобто кількість розчиненого азоту в молібдені пропорційна квадратному кореню тиску азоту.

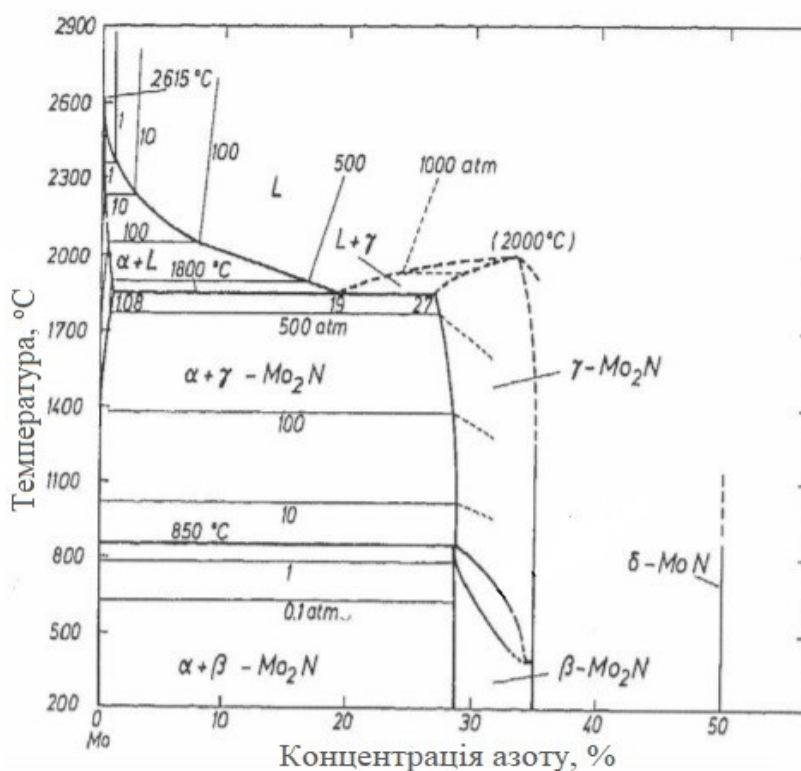


Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи молібден-азот [1]

Нітриди молібдену можна отримати одночасним відновленням і азотуванням оксиду молібдену MoO_3 . При проведенні цього процесу при температурі 750-800 °С утворюється нітрид Mo_2N . Плівка нітриду, що утворюється на поверхні частинок оксиду, володіє поганою газопроникністю по відношенню до азоту, але через водень, що наявний в атмосфері, на поверхні утворюються різні з'єднання типу амінів, що приводить до руйнування плівки і забезпечує доступ азотно-водневої суміші до більш глибоких шарів оксиду.

Також сполуку Mo-N отримують вакуумно-дуговим методом (випаровування молібдену при зміні тиску азоту).

1.2 Азотування молібдену

Азотування – обробка, що складається з дифузійного насичення поверхневого шару металу/сплаву азотом (азотом та вуглецем) при нагріванні у відповідному середовищі. Найчастіше азотування проводять при температурі 500 – 600 °С (низькотемпературне азотування). Азотуванню можна піддавати будь-які сталі, чавуни, і, також, тугоплавкі метали при температурі 600 – 1200 °С (Ti , Mo , Nb , V). В результаті азотування виріб отримує високу твердість на поверхні, яка може зберігатись до температур 400 – 450 °С, високу зносостійкість та границю витривалості, та високу корозійну стійкість в будь-якому середовищі (атмосфера, прісна вода та пара). Найбільш поширеними є азотування в тліючому розряді (іонне) та азотування в рідких середовищах. Також можливе поєднання азотування з газами, що містять вуглець та поєднання азотування з вуглецем та сіркою для підвищення зносостійкості та здатності працювати в умовах сухого та напівсухого тертя.

Азотування підвищує твердість, зносостійкість поверхні і в ряду випадків і жароміцність тугоплавких металів, в тому числі і молібдену.

При азотуванні молібдену можливе утворення трьох нітридів, відповідно до таблиці 1.1 – Mo_2N , Mo_3N і MoN . Молібден можна азотувати в атмосфері дисоційованого аміаку і азоту. Азотований шар виявляється у вигляді білої полоси нітридів молібдену, що не травиться і темного дифузійного шару, що

травиться і складається з α -твердого розчину азоту в молібдені, його нітридів і нітридів легуючих елементів.

Таблиця 1.1 – Технологія азотування, будова і властивості нітридної зони на молібдені [2]

Технологія азотування		t, °C	τ , г	Фазовий склад поверхневої нітридної зони	H ₅₀ , МПа	Товщина нітридної зони, мкм
Спосіб	Атмосфера					
Радіаційний нагрів	Аміак	900-950	1-6	MoN	12000-18000	5-20
		950-1130	1-6	Mo ₂ N	2000	20-80
		>1130	1-6	-	2500-5500	-
Контактний електронагрів	Аміак	800-950	2	MoN + Mo ₂ N	15000-20000	20-110
		950-1400	2	Mo ₂ N	18000-20000	-
		1400	1-3	-	2500-6000	4-30
В тліючому розряді $\rho = 3,9 \cdot 10^2 - 32,5 \cdot 10^2$ Па U = 450-670 В	Азот	800-1000	1	Mo ₂ N	14000-15000	6-8
		1150	1	(MoN)	3000-8000	150
		1300	6	-	3200	250

Нітридна зона при температурі азотування до 950 °C складається з двох нітридів – MoN і Mo₂N, в інтервалі 950-1130 °C – тільки з нітриду Mo₂N. Насичення при температурі 1130 °C і вище не викликає утворення нітридного шару. Товщина шару при підвищенні температури азотування від 900 °C до 1200 °C і тривалості витримки протягом однієї години виросте від 2 до 8 мкм, а при шестигодинній витримці – від 12 до 52-55 мкм. Нітридний шар досить крихкий і в ньому можуть виникати тріщини. Підвищення температури і тривалості азотування сприяє збільшенню крихкості шару. Процес азотування пришвидшується завдяки використанню контактного електронагріву або плазми тліючого розряду.

Нітридний шар (MoN) має високу мікротвердість ($H_{50} = 20000$ МПа). Максимальну мікротвердість має шар на молібдені після азотування протягом однієї години при 1100°C . В зоні нітриду твердість дещо змінюється. Мікротвердість підшару (зона внутрішнього азотування) після азотування при 1100°C досягає $H_{50} \sim 60000$ МПа і зменшується від поверхні в середину. Мікротвердість підшару на молібдені не підвищується.

Нітридні покриття на молібдені мають високу зносостійкість. Підвищення азоту в основному металі і наявність нітридного шару викликає падіння міцності після азотування і пластичності при 20°C . Азотування – ефективний спосіб підвищення жароміцності молібденових сплавів; збільшується на 50-100 % при температурних випробувань $1000-1400^\circ\text{C}$. Однак нітридні покриття на молібдені не є жаростійкими, тому перед використанням азотованого молібдену в окислювальному середовищі необхідно наносити на нього захисне покриття.

1.3 Методи вакуумно-дугового напилення

Вакуумне напилення проводиться в робочій камері, де шляхом відкачування забезпечується залишковий тиск газів не вище 10^{-4} Па [3, 4]. Завдяки цьому досягається необхідна довжина вільного пробігу частинок (іонів, атомів, молекул) і видалення атмосферних газів, які взаємодіють з матеріалами, що напилюються. Робоча камера обладнана випарниками і пристосуванням для установки напилюваних виробів.

Введення в камеру активних газів дозволяє реалізувати варіант реакційного нанесення (реактивного осадження) відповідних з'єднань (нітридів, оксидів тощо) шляхом хімічної взаємодії частинок з активними газами.

До переваг вакуумного напилення відносять:

- високу щільність і механічні властивості матеріалу, що напилюється;
- чистоту процесу;
- можливість отримання в покриттях карбідів, нітридів, оксидів;
- нанесення тонких рівномірних покриттів.

Недоліком є складність обладнання, що застосовується.

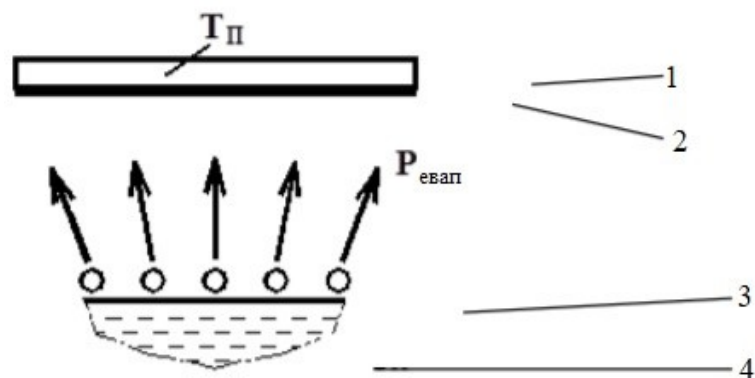
Виділяють чотири основні методи вакуумного напilenня: термовакuumне напilenня, iонне розпилення, дугове осадження та магнетронне напilenня.

1.3.1 Метод термовакuumного напilenня

Процеси термовакuumного напilenня засновані на розігріві напильючого джерела в вакуумному середовищі до максимальної температури в момент, коли відбувається випаровування і конденсація парів на поверхні підкладки. Гранична сила евапорації спостерігається при розігріві джерела вище температури плавлення.

Різновиди методу визначаються способом нагріву матеріалу і конструкцією випарника, вибір якого залежить від напильючого джерела, його початкової форми (дріт, порошок, гранули) і заданої швидкості розпилення.

Особливістю технологічних процесів термовакuumного напilenня, схема процесу представлена на рисунку 1.2, незалежно від типу випарника осаджені шари формуються переносом нейтральних частинок – випаровуваних атомів. Частинки мають низьку енергію, що виключає можливість впливати на процеси, які протікають на напильювальній поверхні при зародженні і зростанні шарів.



1 – підкладка для напilenня, 2 – напильний шар, 3 – пари напильючого матеріалу, 4 – напильючий матеріал

Рисунок 1.2 – Схема процесу термовакuumного напilenня

Характеристики процесу

Залишковий тиск в робочій камері $P_{\text{евап}} = 10^{-4} - 10^{-8}$ Па;

Температура підкладки $T_{\text{п}}=373-973 \text{ K}$;

Енергія частинок, що осаджуються $E=0,1-0,3 \text{ eV}$;

Доля іонізованих частинок $K=0$.

До недоліків термовакuumного методу напилення відноситься некерована швидкість осадження, низька, змінна і нерегульована енергія частинок.

1.3.2 Метод іонного розпилення

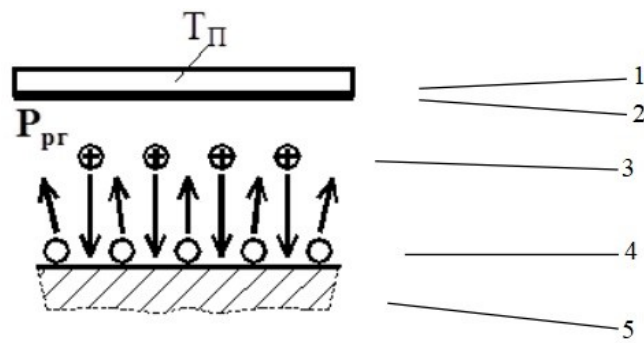
Суть методу осадження тонких плівок у вакуумні іонним розпиленням, відповідно до схеми, яка представлена на рисунку 1.3, полягає в бомбардуванні позитивно заряджених іонів робочого газу, молекул з верхніх шарів напилюючого матеріалу, з наступним осадженням розпилених з катоду атомів на поверхні технологічної підкладки.

Іони утворюються в тліючому розряді при тиску робочого газу $1-5 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$ і прискорюються до енергії $0,7-5 \text{ кеВ}$ внаслідок прикладання до мішені негативного потенціалу $0,7-5 \text{ кВ}$.

Продуктом розпилення є нейтральні атоми (молекули). Доля заряджених частинок складає близько 1%.

При використанні в якості робочого газу сумішей з аргону і хімічно-активного газу (O_2 , N_2 тощо) реалізується реактивний метод осадження оксидів, нітридів та ін.

Розпилені атоми (молекули) володіють великою кінетичною енергією, яка в 50-100 разів перевищує енергію термічно-випаруваних атомів. Розпилення супроводжується емісією вторинних електронів, що пришвидшуються в електричному полі і викликають додаткову іонізацію робочого газу.



1 – підкладка, 2 – напилений шар, 3 – іони робочого газу, 4 – поверхневі атоми напилюючого матеріалу, 5 – напилюючий матеріал

Рисунок 1.3 – Схема процесу іонного розпилення

Характеристики процесу

Тиск робочого газу (аргону) в камері $P_{\text{р.г.}} = 5 \cdot 10^{-2}$ Па;

Температура підкладки $T_{\text{П}} = 293\text{--}693$ К;

Енергія частинок, що осаджуються $E = 3\text{--}5$ еВ;

Доля іонізованих частинок $K = 0,01$.

На практиці існує декілька основних схем іонного розпилення, які отримали перевагу у вакуумних технологіях, вони відрізняються умовами формування плазми тліючого розряду:

- діодна;
- тріодна;
- магнетронна.

Діодна схема характеризується низькою іонізацією молекул робочого газу і використовується в основному при нанесенні тонких плівкових шарів при виробництві виробів радіоелектронної техніки.

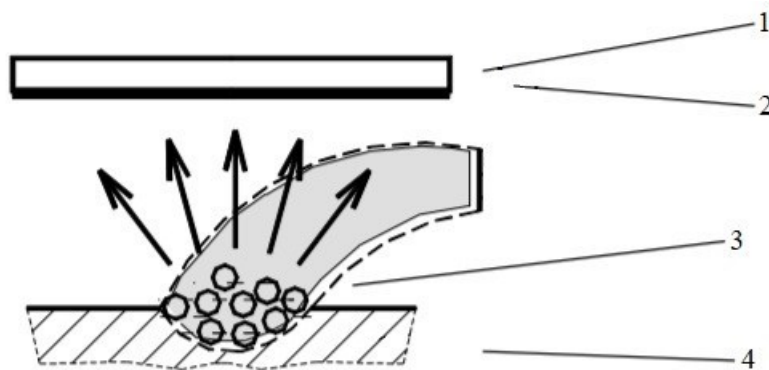
Тріодна схема забезпечує підвищення іонізації робочого газу за рахунок використання термоелектронного катоду і магнітної котушки. Електрони в магнітному полі створюють складні переміщення по окружності магнітних ліній. Збільшується продуктивний розмір проходу електронів, значить підвищуються показники іонізації робочого газу.

Подальше підвищення щільності іонного потоку і швидкості розпилення мішені забезпечують магнетронні системи.

1.3.3 Метод дугового осадження

Процеси дугового випаровування-розпилення матеріалу здійснюються при подачі негативного потенціалу джерела живлення в дуговому розряді.

Формування покриттів дуговим розрядом у вакуумному середовищі, відповідно до схеми, яка представлена на рисунку 1.4, відбувається за рахунок ерозії речовини в надточних дугових розрядах, утворення іонізованої парової фази (20-100% іонів), її перенесення з великою швидкістю (енергія частинок E досягає 10 еВ) і конденсації на поверхні підкладки.



1 – підкладка, 2 – напилений шар, 3 – дуговий розряд, 4 – частинки, що випаровуються

Рисунок 1.4 – Схема вакуумного осадження дуговим випаровуванням

Характеристики процесу

Тиск робочого газу (аргону) в камері $P_{р.г.}=1\cdot 10^{-2}$ Па;

Температура підкладки $T_{п}=293\text{-}693$ К;

Енергія частинок, що осаджуються $E=0,1\text{-}10$ еВ;

Доля іонізованих частинок $K=0,2\text{-}1$.

Камера вакуумується до залишкового тиску $1\cdot 10^{-2}$ Па. Між катодом і анодом (анодом може бути стінка камери) збуджується дуговий розряд за

допомогою силових джерел живлення постійного струму. Дуговий розряд відбувається в парах матеріалу катоду. Розряд на аноді є дифузійним. Розряд на катоді існує в формі катодних плям, які хаотично переміщуються по холодній поверхні катоду. Для втримання катодної плями в межах площі матеріалу, що випаровується, передбачується електромагнітна котушка.

В області катодних плям з високою щільністю локальної енергії (близько 100 Вт/см^2) з високою швидкістю проходить ерозія матеріалу катоду. Продукти ерозії, проходячи через дуговий розряд, у вигляді катодних струменів, іонізуються. Таким чином формується щільний плазмовий потік осаджуючого матеріалу з високою іонізацією і високою енергією частинок, який конденсується на поверхні підкладки і виключає її подальший нагрів.

Активация поверхні і процесів, що протікають при зародженні і зростанні покриття, досягається за допомогою бомбардування іонами, пришвидшеними в електричному полі підкладки.

Переваги методу: можливість отримання тонких плівок сплавів, оксидів, нітридів, карбідів як за допомогою використання мішеней з цих матеріалів, так і реактивним методом, висока якість покриттів, велика кількість регульованих процесів.

До недоліків методу дугового випаровування відносять в основному наявність в потоці осаджуючої речовини значної кількості конденсованої (крапельної) фази та «макрочастинок», що значно знижують якість покриття осіданням на поверхні.

1.3.4 Метод магнетронного напилення

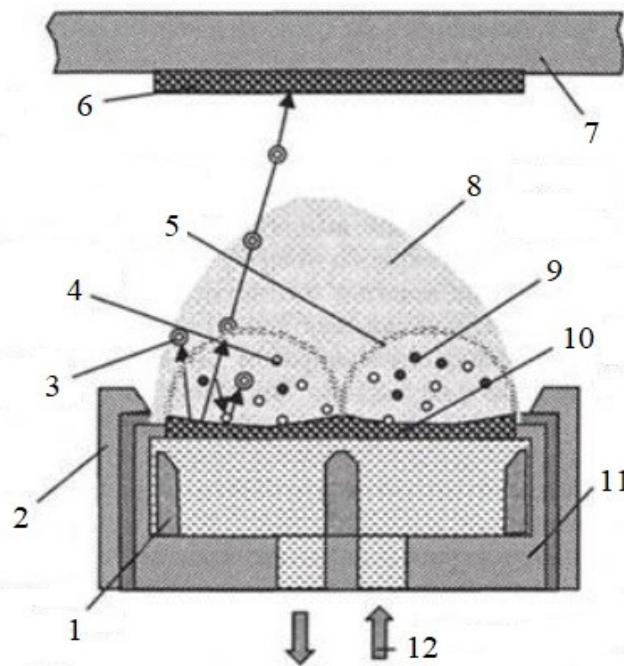
В установках магнетронного напилення основними частинами є катод, анод і магнітна система, яка знаходиться під катодом. Замикаючись між полюсами постійних магнітів, силові лінії утворюють магнітне поле, що можна побачити на схемі рисунку 1.5. Між анодом та катодом, при подачі напруги 300-1000 В у плазмі робочого газу виникає тліючий розряд. Наявність магнітного поля дозволяє локалізувати плазму розряду в мішені. Емітовані з катоду, під дією

бомбардування іонами робочого газу, електрони захоплюються магнітним полем, їм притаманний рух по закритим траєкторіям на поверхні мішені.

Такий рух значно збільшує довжину траєкторії електронів, що підвищує ймовірність зіткнення з молекулами робочого газу і дозволяє таким молекулам іонізуватися.

Також зростає концентрація іонів поблизу розпилюючого матеріалу. Кільцевий анод, на який потрапляють електрони, що втратили свою енергію, практично виключає бомбардування електронами поверхні напилення.

Найбільшу популярність отримали магнетрони з плоскими катодами дискової або прямокутної форми. Матеріалом катоду можуть служити метали, в тому числі і тугоплавкі – молібден, вольфрам, так і хімічні з'єднання, отримані шляхом спікання порошків.



- 1 – постійний профільований магніт, 2 – анод, 3 – вибиті з мішені атоми,
 4 – іони аргону, які бомбардують мішень, 5 – лінії магнітного поля,
 6 – напилююче покриття, 7 – підкладка, 8 – плазма тліючого розряду,
 9 – електрони, 10 – мішень, 11 – охолоджуючий катод, 12 – подача охолодженої
 води

Рисунок 1.5 – Схема магнетронного напилення

Магнетронні системи з різними просторовими формами мішені дозволяють наносити покриття на складні поверхні.

Перевагою методу осадження тонких плівок магнетронним методом є універсальність, високе значення коефіцієнту використання матеріалу. До недоліків відносять невисоку ступінь іонізації потоку розпилюючих частинок.

1.4 Отримання вакуумно-дугового Mo-N покриття

Найбільш прийнятним технологічним методом зі всіх способів синтезу нанокристалічних покриттів з нітриду молібдену є вакуумно-дугове осадження [5]. В електродуговому розряді молібден є матеріалом катоду, що перетворюється в компонент високоіонізованої низькотемпературної плазми. Утворення покриття відбувається в момент осадження на підкладку (поверхня оброблюваного інструменту) нейтральних, збуджених і заряджених частинок молібдену. Це забезпечує високу хімічну активність осідаючого молібдену в присутності газоподібного азоту, який знаходиться в активованому стані [6]. Як наслідок, нанокристалічні покриття з нітриду молібдену мають високу адгезію до матеріалів, що містять залізо.

Але синтез нанокристалічних покриттів нітриду молібдену, що володіють високою твердістю, пов'язаний з рядом проблем.

В системі молібден-азот утворюється декілька нітридних фаз [7], які розрізняються між собою фізико-механічними властивостями. Також відомо, що процес синтезу продуктів реакції молібдену з азотом в плівках і покриттях може призвести до утворення фаз, що не збігаються з очікуванням в рівноважних фазових діаграмах [8]. Стійкість утворених нітридних фаз визначається найменшою кількістю домішок сторонніх елементів, особливо елементів впровадження (вуглець, кисень, водень) [9]. Важним фактором є те, що процес синтезу при вакуумно-дуговому осадженні протікає в умовах, які значно відрізняються від умов термодинамічної рівноваги [10]. Незважаючи на те, що вже давно вивчались та досліджувались інтервали тиску азоту [11, 12], що забезпечують синтез монофазних покриттів, ці інтервали так і не стали чітко

встановленими. В основному це стосується області існування нітридної фази γ - Mo_2N в покриттях, отриманих вакуумно-дуговим методом. Також ще не вивчений вплив чистоти матеріалу катоду на синтез продуктів взаємодії молібдену з азотом в умовах вакуумно-дугового осадження.

Фазоутворення в нанокристалічних покриттях системи молібден-азот є багатofакторним процесом і значній мірі визначається параметрами процесу осадження плазмового потоку (тиском реакційного газу, швидкістю осадження покриттів, фоновим тиском залишкових газів, потенціалом зміщення підкладки та ін.) [13].

Виходячи з літературного огляду, можна сказати, що вакуумно-дугові покриття характеризуються високою твердістю, зносостійкістю та низьким коефіцієнтом тертя і залежать від параметрів вакуумно-дугових методів, але фізико-механічні характеристики Mo-N покриттів є значно нижчими, ніж в покриттях Ti-N , тому мета даного дослідження – підвищення функціональних властивостей покриттів з нітриду молібдену.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Мікроструктурний аналіз

Мікроструктурний аналіз полягає в дослідженні будови (мікроструктури) металу за допомогою оптичного або електронного мікроскопу. Мікроаналізу піддають спеціально підготовлені зразки – мікрошліфи.

Мікрошліфи готують наступним чином – місце вибирають залежно від задач дослідження. У випадку з'ясування причин руйнації деталей, зразки вирізають поблизу місця руйнації. При вирізанні і наступному шліфуванні зразка неприпустиме значне нагрівання, тому що воно може викликати суттєві структурні зміни.

Поверхню зразка роблять плоскою і шліфують вручну або на верстатах наждачним папером різної зернистості: спочатку для чорнового шліфування беруть більш грубий папір, а потім, для чистового, папір заключного шліфування. Після шліфування залишки абразиву змивають водою з поверхні шліфа. Потім для видалення дрібних рисок, що залишились після шліфування, зразок полірують.

Існуючі способи полірування засновані на механічному або електрохімічному способі видалення матеріалу, або ж на їх комбінації. Механічне полірування проводять на полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий тканиною (фетр, оксамит, тонке сукно). Тканину періодично поливають водною суспензією, що містить дрібні абразивні частки оксидів алюмінію, хрому або заліза. Добрим полірувальним матеріалом є алмазні пасти, паста ГОІ. Коли поверхня набуває дзеркального блиску, полірування припиняють. На якісно відполірованому мікрошліфі при спостереженні під мікроскопом відсутні риси, подряпини та інші механічні дефекти.

Подальші дослідження поводити за допомогою мікроскопу МІМ-8, який призначений для дослідження мікроструктури металів та інших непрозорих об'єктів. Для візуального спостереження мікроскоп оснащений монокулярною та біноккулярною насадками; збільшення біноклярної насадки – $2,5^{\times}$, тому при

візуальному спостереженні можливе збільшення знаходиться від інтервалах від $100^{\times}$ до $1350^{\times}$, а при фотографуванні – від $45^{\times}$ до $2000^{\times}$.

2.2 Вакуумно-дуговий метод

Покриття отримуємо у вакуумній камері, схема якої представлена на рисунку 2.1, за допомогою серійної вакуумно-дугової установки «Булат-6» [14]. Випаровуваний матеріал – молібден високої чистоти марки МЧВП.

1) Параметри осадження під час вакуумно-дугового напилення: струм дуги $I_D=105$ та 160 А, потенціал підкладки $U_{III} - 40$ і $- 200$ В, тиск азоту в процесі осадження P_N $0,14$ і $0,18$ Па. Використовувались поліровані підкладки з нержавіючої сталі 12Х18Н9Т розмірами $20 \times 20 \times 3$ мм і мідної фольги товщиною $0,2$ мм з попередньою промивкою лужним розчином в ультразвуковій ванні, а потім нафтовим розчинником С2-80/120. Після відкачування вакуумної камери (рис. 2.1) до тиску $1 \cdot 10^{-3}$ Па на підкладки подавався негативний потенціал 1000 В і при струмі дуги 100 А проводилась очистка і активація їх поверхні бомбардуванням іонами молібдену протягом 3-4 хвилин. Відразу після очистки наносились покриття товщиною близько 7 мкм.

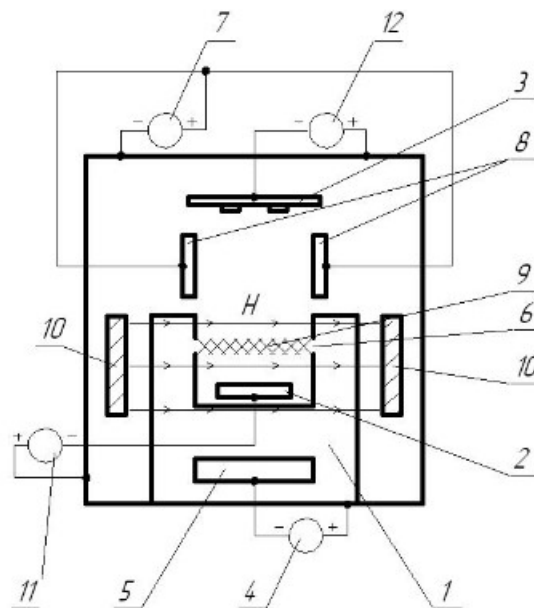
2) Параметри осадження в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду: струм газового розряду 25 А, магнітне поле $3,6$ мТ, потенціал на мішені – 850 В, потенціал зсуву на підкладці – 50 В, тиск газової суміші в процесі осадження $0,3$ Па. В якості підкладок використовувались поліровані пластини з сталі Х18Н9Т розміром $20 \times 20 \times 2$ мм з попереднім очищенням в ультразвуковій ванні в розчині ацетону з етиловим спиртом. Підкладки розташовуються на відстані 50 мм від мішені. Вакуумна камера відкачувалась до тиску $\sim 2 \cdot 10^{-3}$ Па, після чого у камеру запускався азот.

Вакуумна камера для нанесення покриттів складається з емісійної частини 1 і частини, в якій розміщена розпилювальна мішень 2 і тримач 3 зі зразками. Процес нанесення покриттів відбувається при наповненні вакуумної камери аргоном або сумішшю аргону з необхідним газом для отримання з'єднань (нітридів). При ввімкненні блоку живлення 4 емісійна частина камери, де

розміщений вакуумно-дуговий випарник, заповнюється плазмою, що містить плазму випарного катоду і газу 5. Електрони з плазми через отвори 6 витягуються електричним полем джерела живлення 7 анодів 8, утворюючи плазмові потоки 9, що додатково формуються магнітним полем H постійних магнітів 10.

При подачі на мішень високого негативного потенціалу від джерела 11 вона піддається бомбардуванню іонами аргону та газу, що входять в склад газової суміші. Розпилені атоми мішені в потоці електронів 9 іонізуються, і, прискорені негативним потенціалом тримача 12 осідають на підкладках. За допомогою регулювання потенціалу підкладок можна керувати характеристиками покриттів.

Зі збільшенням величини магнітного поля зростає напруга на анодах 8, що збільшує енергію електронів в потоках 9 і, власне, ступінь іонізації розпиленних атомів.

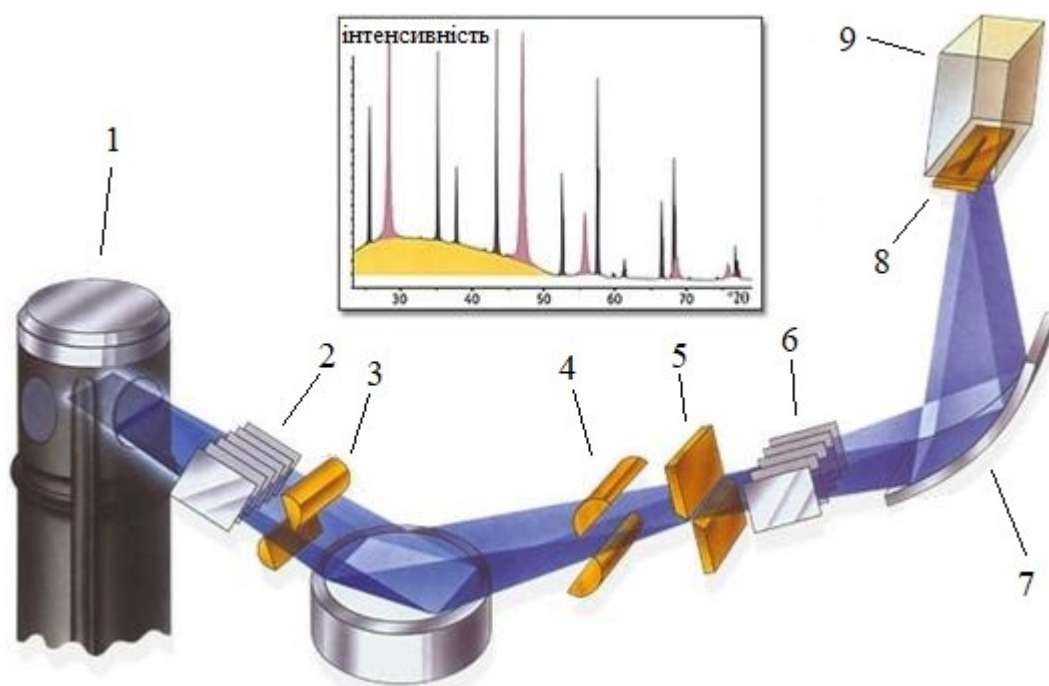


1 – емісійна зона, 2 – розпилювальна мішень, 3 – тримач зі зразками, 4 – джерело живлення вакуумно-дугового розряду з холодним катодом, 5 – випарний катод вакуумно-дугового розряду, 6 – отвір в екрані, 7 – джерело живлення стиснутого газового дугового розряду, 8 – аноди стиснутого розряду, 9 – плазмові потоки стиснутого розряду, 10 – постійні магніти, 11 – джерело живлення мішені, 12 – джерело живлення зразків

Рисунок 2.1 – Схема камери вакуумно-дугової установки [15]

2.3 Рентгеноструктурний аналіз

Для визначення фазового складу використовувався метод рентгеноструктурного аналізу за допомогою дифрактометра Rigaku ULTIMA IV, який зображений на рисунку 2.2.



1 – рентгенівська трубка, 2 – щілина Солера, 3 – екваторіальна щілина, 4 – щілина проти розсіювання, 5 – прийомна щілина, 6 – щілина Солера, 7 – вторинний монохроматор, 8 – щілина детектора, 9 – детектор

Рисунок 2.2 – Схема дифрактометра Rigaku ULTIMA IV

Головні компоненти дифрактометра: рентгенівська трубка і детектор розміщуються на рухомому пристрої, що називається гоніометр. Це система точного встановлення і відслідковування кута випромінювання до відношення до поверхні зразка. Одне плече гоніометра задає кут опромінення зразка рентгенівською трубкою, інше визначає кут Бреггівського відображення опромінення від зразка. Під час неперервного руху детектор (при зміні кута θ) реєструє інтенсивність рентгенівського випромінювання. Інші частини оптичної схеми дифрактометра надають випромінненню такі властивості, щоб

оптимізувати його для вирішення тих чи інших задач дифрактометричних досліджень.

Основою методу є явище дифракції рентгенівського випромінювання у вузлах кристалічних ґраток, що можливе при розсіянні рентгенівських променів на періодично розташованих частинках з дальнім порядком. Результируючі дифраговані промені мають різну довжину ходу, що залежить від міжплощинної відстані кристалу та кута, під яким на нього падає рентгенівський промінь (2.1).

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad (2.1)$$

де: d – міжплощинна відстань;

θ – брегівський кут;

λ – довжина хвилі випромінювання;

n – порядок відбиття.

Тобто при різниці ходу в $n\lambda$ (n – ціле число) завдяки інтерференції хвилі будуть посилюватись, що в результаті дає максимум інтенсивності на дифракційній картині. Так як довжина хвилі випромінювання є відомою можливий розрахунок міжплощинної відстані за формулою 2.1. За допомогою порівняння цих розрахункових даних з попередньо відомими табличними даними можливе визначення фазового складу досліджуваних плівок.

2.4 Визначення мікротвердості та коефіцієнту тертя

Мікроіндентування проводилось за допомогою установки «Micron-gamma» при навантаженні до $F=0,5$ Н алмазної піраміди Берковича з кутом заточування 65° . Точність сили F становила 3-10 Н, глибина впровадження індентора 2,5 нм. Визначення характеристик твердості (H_{IT}) і модуля пружності (E_T) проводилися відповідно до міжнародного стандарту ISO 14577:1-2015 [16], використовувались характеристики величини пружної деформації (ϵ_{es}), напруги, вище якої при індентуванні починається пластична деформація (σ_{es}) і нормованої

твердості (H_{IT}/E_r), яка характеризує рівень зміцнення та структурний стан матеріалу [17, 18].

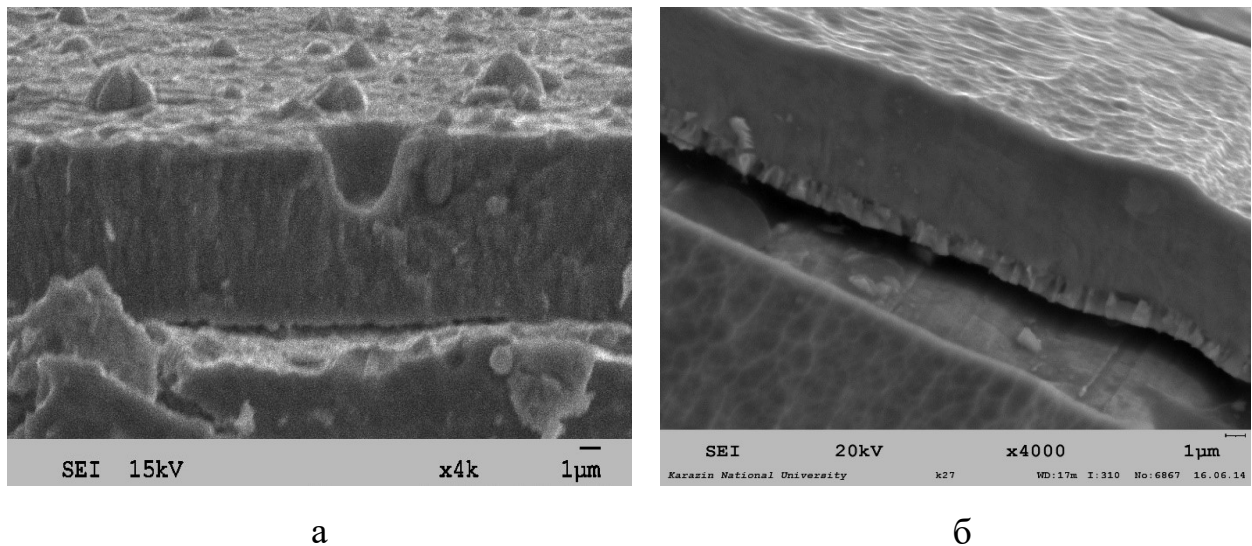
Триботехнічні характеристики сплаву при роботі на повітрі без змащення досліджувалися на машині тертя «Micron-tribo», призначеної для проведення випробувань на тертя і знос за схемою «палець-диск». В якості «пальця» – алмаз з кутом заточування 30° і радіусом закруглення ~ 20 мкм. Тертя здійснювалося при швидкості 6 мм/с і навантаженні 5,2 Н.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Структура вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену

Вивчення фрактограм крихких зломів покриттів, осаджених на мідні підкладки показало, що при всіх досліджених в роботі інтервалах тиску азоту, швидкостях осадження і потенціалах зміщення формуються безпористі щільні покриття з волокнистою структурою. При цьому також спостерігалось придушення захоплення «макрочастинок» молібдену нітридним покриттям, що зростає. Їх вміст в покриттях не виявився ні при дослідженні морфології поверхні, ні на рентгенодифракційних спектрах.

Необхідно відмітити перевагу покриттів нітриду молібдену отриманих у плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду перед покриттями отриманих вакуумно-дуговим напиленням – це висока якість поверхні, що добре демонструється на рисунку 3.5.



а – метод вакуумно-дугового напилення, б – плазма стисненого розряду

Рисунок 3.5 – Структура нітриду молібдену

Перевагою покриттів отриманих в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду перед вакуумно-дуговим розпиленням є відсутність крапельної складової та «макрочастинок».

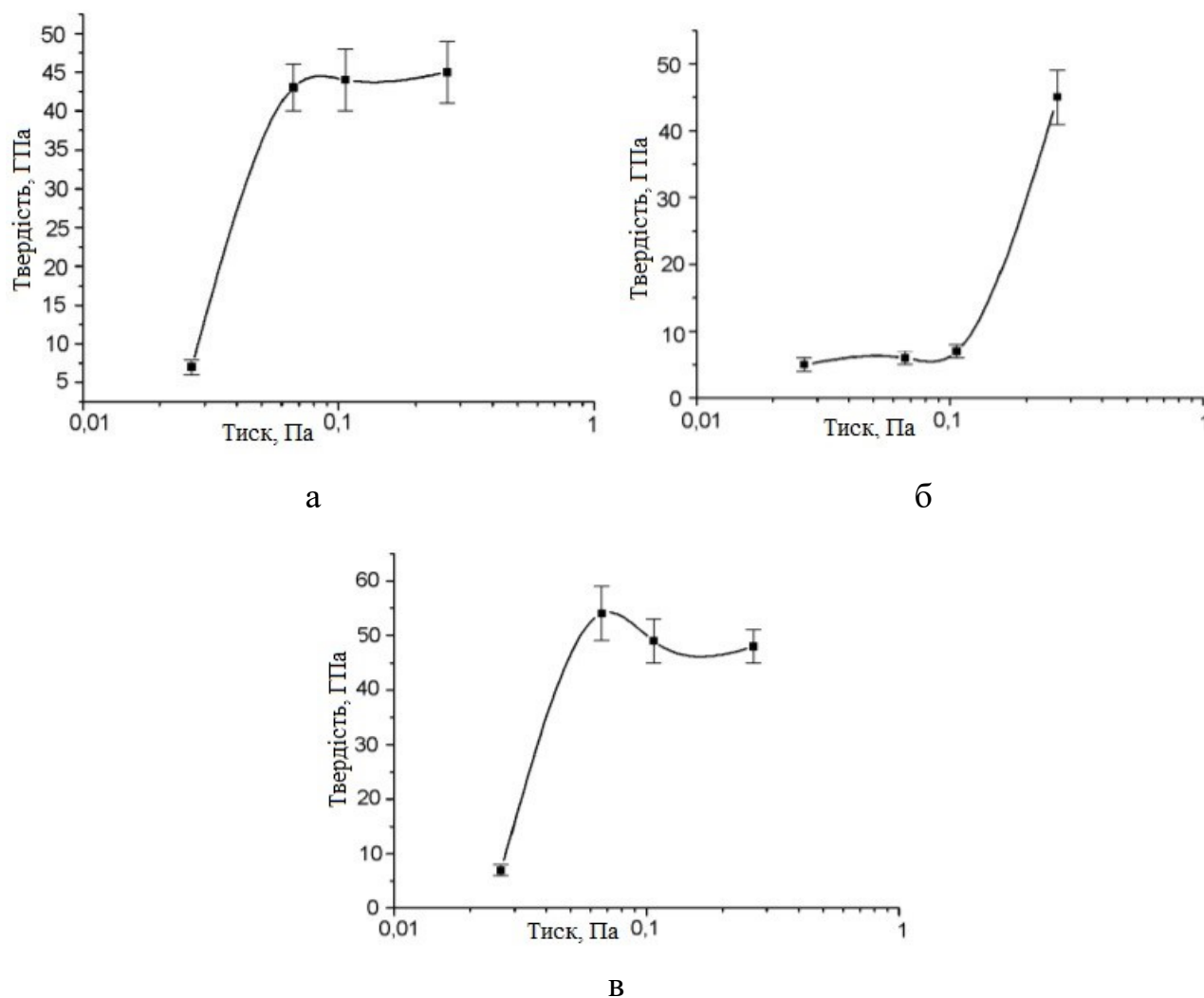
3.2 Властивості покриттів нітриду молібдену, отриманих методом вакуумно-дугового напилення

Зіставлення отриманого фазового складу покриттів з технологічними режимами осадження показує, що формування рівноважної, при відносно низькій (до 350°C) температурі фази β -Mo₂N стимулюється більш високою енергією, що виділяється на підкладці за рахунок збільшення швидкості осадження (збільшення щільності іонного струму та масопереносу) при більш високих потенціалах зміщення на підкладці. З однієї сторони, вказані фактори сприяють підвищенню температури в області формування структури покриття, переводячи її в більш рівноважний для β -Mo₂N стан, не дивлячись на те, що подача вищого потенціалу зміщення активує процес переважного розпилення атомів азоту. Твердість при різних умовах осадження можна побачити у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Умови осадження, твердість і відносний вміст β -Mo₂N фази при осадженні покриттів системи Mo-N

№ зразка	I _д , А	U _{пп} , В	T, °C	V, мкм/Г	P _N , Па	H, ГПа	Відносний вміст фази β -Mo ₂ N	Помітки
1	105	40	200	3,5	0,18	33	50	Відколи
2	105	40	210	3,5	0,14	30	90	
3	160	40	40	7	0,14	55	100	Відколи
4	160	200	470	7	0,18	55	100	
5	160	200	470	7	0,18	51	95	

В залежності від тиску азоту були проведені дослідження твердості покриттів, графіки залежностей представлені на рисунку 3.1.



а – $U_{III}=40$ В, б – $U_{III}=200$ В, в – $U_{III}=40$ В

Рисунок 3.1 – Залежність твердості покриттів Мо-N від тиску азоту в процесі осадження при струмі дугового розряду 160 А

У випадку режимів отримання 1-го зразка співвідношення Mo_2N з тетрагональною і кубічною ґратками близьке до 1:1, у випадку подачі високовольтних імпульсів (зразок 2) відсоток кубічної ґратки не перевищує 10%, при цьому відбувається формування кристалів $\beta\text{-Mo}_2\text{N}$ фази (тетрагональна ґратка) з переважним розміщенням площини (110) паралельно до поверхні підкладки.

При відносно невеликих струмах дуги і низькому потенціалі температура підкладки не перевищує 200°C . Твердість покриття, отриманого в таких умовах складає 31 ГПа. При цьому вміст фази $\beta\text{-Mo}_2\text{N}$ знаходиться в межах близько 50%, все інше – нітрид молібдену з кубічною (типу ГЦК) кристалічною ґраткою. В

залежності від заповнення октаедричних пор атомами азоту склад такої фази може змінюватися від стехіометричного Mo_2N ($\gamma\text{-Mo}_2\text{N}$) до Mo_3N_2 . Збільшення струму дуги (швидкості осадження), при такому ж потенціалі підкладки, приводить до твердості покриттів 55 ГПа, але в цьому випадку на поверхні можуть з'являтися відколи, які зазвичай зосереджені в об'ємі покриття при збереженні високої адгезії покриття до підкладки. Самодовільне руйнування покриття відбувається пошарово, що добре видно на мікрофотографії на рисунку 3.2. Раніше в таких покриттях (близько 2 мкм) такі відколи не спостерігались [19, 20].

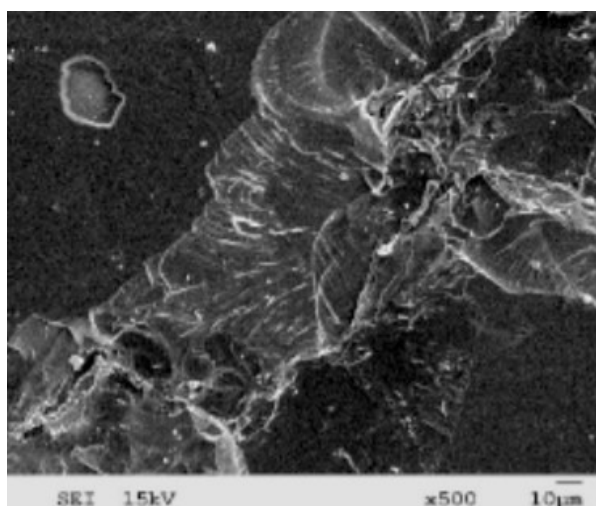


Рисунок 3.2 – Мікрофотографія відколу покриття Mo-N, отриманого випаровуванням молібденового катоду в середовищі азоту ($U_{\text{шт}}=40$ В, $P_N=0,14$ Па, $H=55$ ГПа)

При збільшенні напруги на підкладці до 200 В, кількість азоту в покритті зменшується за рахунок його розпилення в процесі осадження, зростає суцільне (без відколів) покриття зі збереженням такої ж високої твердості.

Ймовірною причиною появи відколів є витіснення надлишкових атомів азоту на границі при утворенні $\beta\text{-Mo}_2\text{N}$ фази з тетрагональною ґраткою, для якої характерна вузька область гомогенності. Це може призвести до спонтанного утворення багатошаровості в покритті [21, 22]. Надлишковий азот може накопичуватися між шарами з утворенням фази $\delta\text{-MoN}$, параметри ґратки якої значно більше, чим параметри ґратки фази $\beta\text{-Mo}_2\text{N}$ [23]. Зміни, що відбуваються

при цьому приводять до утворення відколів. Тому збільшення потенціалу підкладки, наявність високовольтних імпульсів знижують концентрацію азоту в покритті, тим самим знижують ймовірність появи відколів.

Утворенню високотемпературної γ - Mo_2N фази, яка показана на рисунку 3.3, сприяє відносно низька температура підкладки (нижче 200°C), зокрема через низький потенціал підкладки 40 В, де можливе існування кінетичного обмеження рухливості атомів і створюються умови для формування простої (кубічної) ґратки. Такий стан з кубічною ґраткою є перехідним від аморфного до рівноважного, при низьких температурах, кристалічного стану з тетрагональною решіткою. Крім того, низький потенціал зміщення, який характерний для використаних технологічних режимів, сприяє накопиченню залишкового, порівняно з стехіометричним складом Mo_2N , азоту в ґратці, заповнюючи при цьому частину вільних октаедричних порожнин і переводить відношення елементів в фазі до Mo_3N_2 , а також до появи фази MoN .

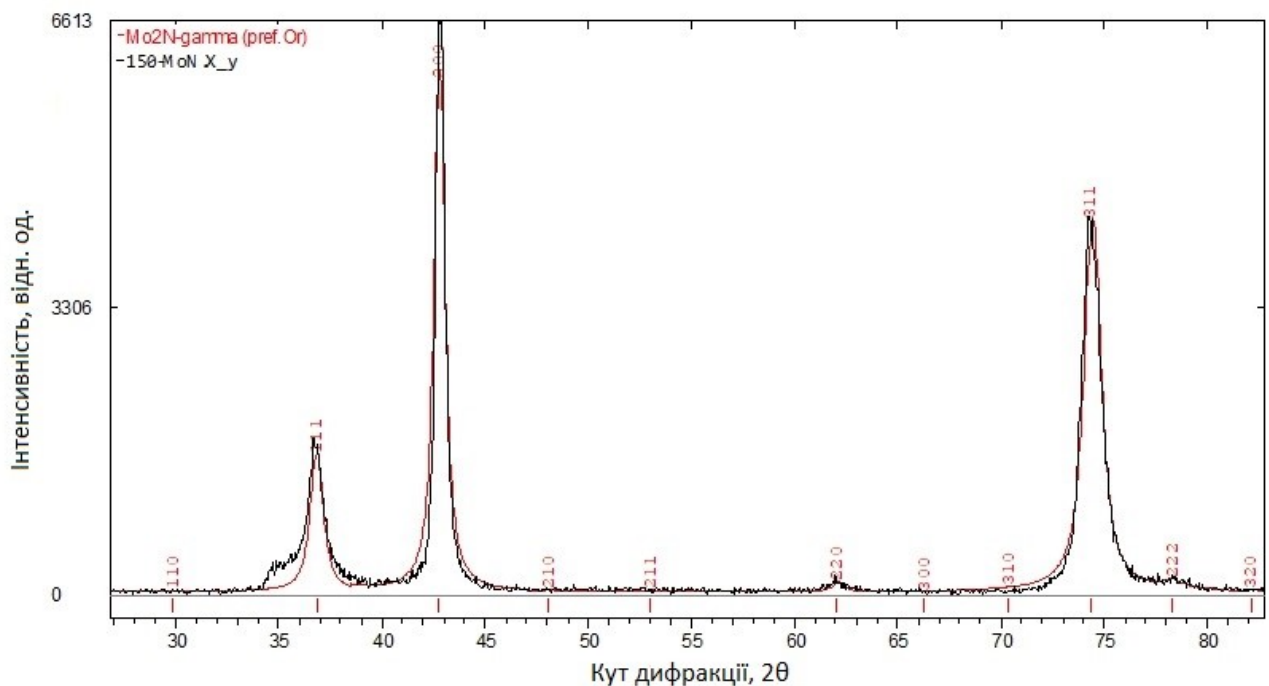


Рисунок 3.3 – Дифрактограма покриття γ - Mo_2N ($a = 0,4163$ нм)

Фаза γ - Mo_2N має значно нижчу твердість чим фаза β - Mo_2N .

3.3 Властивості покриттів нітриду молібдену, отриманих в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду

В таблиці 3.2 представлені результати досліджень властивостей покриттів, отриманих при розпиленні мішені з молібдену в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду в залежності від вмісту азоту в камері напилення.

Таблиця 3.2 – Властивості покриттів нітриду молібдену в залежності від вмісту азоту в камері напилення

Вміст азоту в камері напилення, %	H_{IT} , ГПа	H_{IT}/E_r	E_r , ГПа	ϵ_{es} , %	σ_{es} , ГПа
0	9	0,038	232	1,18	3,32
10	34	0,131	258	4,02	12,93
20	38	0,135	280	4,15	14,81
30	41	0,135	300	4,14	16,41
40	43	0,152	320	4,52	18,24
40	45	0,167	330	5,12	20,15

При відсутності азоту отримано покриття металічного молібдену, яке має твердість на рівні 9 ГПа, а показник нормованої твердості H_{IT}/E_r дорівнює 0,038, це вказує на те, що його структурний стан близький до наноструктурного. Вже при наявності 10% азоту в камері, покриття представляє собою нітрид молібдену $\beta\text{-Mo}_2\text{N}$ з тетрагональною ґраткою і досить високими показниками твердості та «ефективного» модуля пружності. Також варто відмітити, що покриття з нітрид молібдену отриманого в плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду є досить текстуроване вздовж напрямку (312) на дифрактограмі, яка показана на рисунку 3.4.

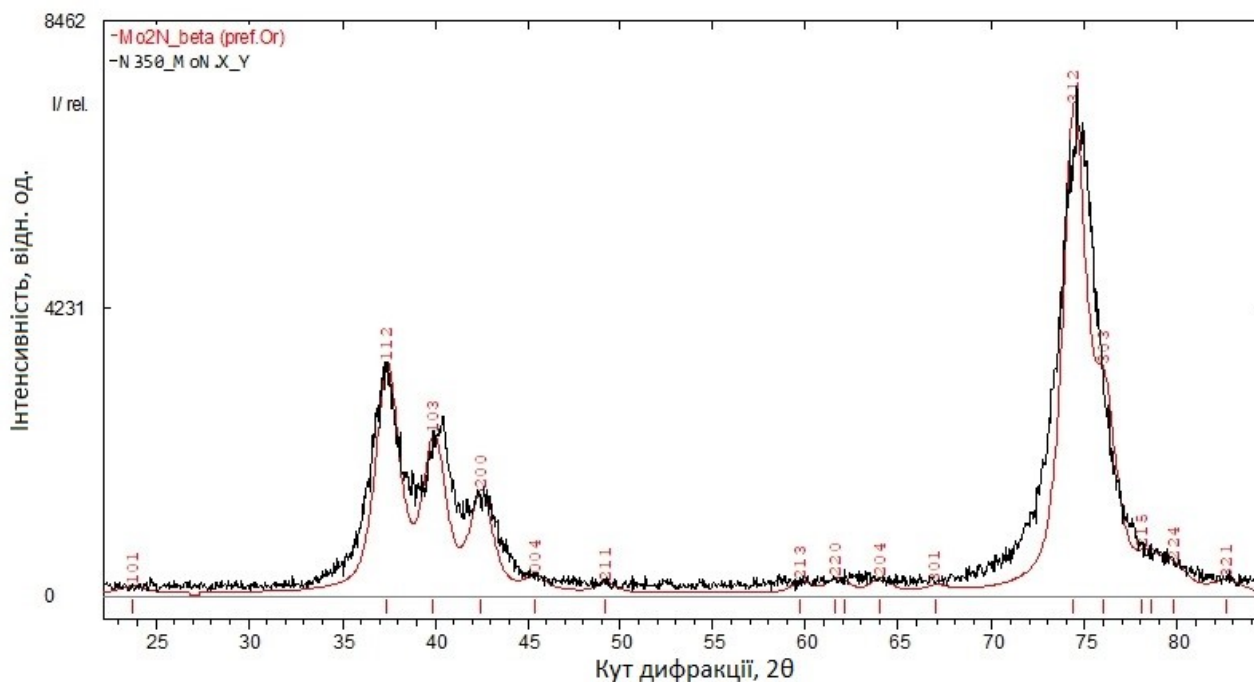
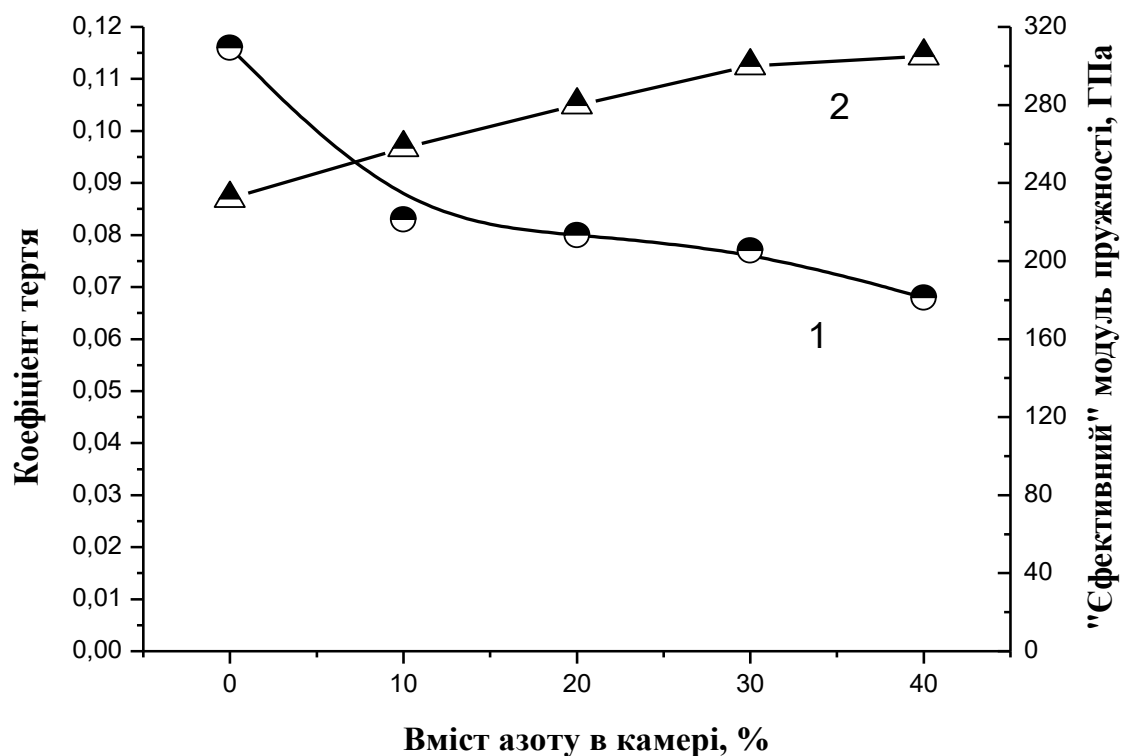


Рисунок 3.4 – Дифрактограма покриття β -Mo₂N ($a=0,4254$ нм, $c=0,7982$ нм)

Найбільші значення твердості (41-45 ГПа) і «ефективного» модуля пружності (300-330 ГПа) отримано при наявності 30-40% азоту в камері напилення. Значення твердості дещо нижчі ніж при вакуумно-дуговому напиленні (45-50 ГПа).

3.4 Залежність властивостей від вмісту азоту в камері

Проведено дослідження характеристик тертя нітриду молібдену отриманого в стисненому дуговому розряді та виявлено, що для них коефіцієнт тертя має тенденцію до зниження при підвищенні «ефективного» модуля пружності, що представлено на графіку залежностей цих властивостей від вмісту азоту в камері на рисунку 3.6.



1 – коефіцієнт тертя, 2 – «ефективний модуль пружності»

Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнту тертя та «ефективного» модуля пружності нітриду молібдену отриманого в стисненого дугового розряду від вмісту азоту в камері напилення

Якщо коефіцієнт тертя для нітриду молібдену отриманого вакуумно-дуговим напилення становив 0,12-0,15 [24], то для нітриду молібдену отриманого в плазмі стисненого дугового розряду він становить 0,065-0,085 при однакових умовах тертя.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Наукового-технічна актуальність теми дослідження

За останні роки було опубліковано цілий ряд наукових видань, які присвячені дослідженню різних властивостей нанокристалічних покриттів нітриду молібдену: зносостійкості, надпровідності та каталітичної активності. Але є дві унікальних властивості таких покриттів, що виділяють їх в матеріал особливого класу. Нанокристалічні покриття нітриду молібдену мають надвисоку твердість та відносно низький коефіцієнт тертя. Такі покриття характеризуються низькою розчинністю в нітридні фазі кольорових металів, наприклад, в таких як мідь. Це дозволяє нітриду молібдену бути чудовим кандидатом для нанесення зміцнюючих покриттів на формуючий інструмент, що використовується для обробки кольорових металів та сплавів. Висока розчинність молібдену в сталях забезпечує високу адгезію нанокристалічного нітриду молібдену як функціонального покриття до поверхні формуючого інструменту. Таким чином високі механічні характеристики і непогана адгезія до формуючого інструменту, а також хімічна інертність по відношенню до кольорових металів роблять нанокристалічні покриття з нітриду молібдену особливо привабливими для промислових підприємств, що займаються обробкою кольорових металів.

4.2 Мета і завдання науково-дослідницької роботи

Мета даної роботи полягає у дослідженні структурного стану та властивостей вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену.

Для досягнення поставленої мети мають бути вирішені наступні задачі:

1. аналіз та опрацювання літературних джерел, зокрема по дослідженню покриттів нітриду молібдену;
2. вивчення та освоєння методики отримання, обробки та дослідження нанокристалічних покриттів нітриду молібдену;

3. дослідження та опис структурного стану покриттів нітриду молібдену;
4. аналіз результатів та формування висновків.

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Робота виконувалася на кафедрі металознавства та термічної обробки в КПІ ім. Ігоря Сікорського. Планова собівартість виконання НДР відображає рівень матеріальних та трудових витрат, а її планування забезпечує отримання необхідних результатів при мінімальних витратах. Обчислення собівартості НДР здійснюється за наступними калькуляційними статтями:

- 1) витрати на оплату праці;
- 2) визначення розміру єдиного соціального внеску;
- 3) вартість матеріалів необхідних для проведення досліджень;
- 4) витрати на спеціальне обладнання;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) інші прямі невраховані витрати по темі;
- 7) накладні витрати.

4.3.1 Витрати на оплату праці

Розрахунок витрат основної заробітної плати ведеться на основі даних по трудомісткості виконання окремих етапів НДР та денної заробітної плати виконавців. Розрахунок трудомісткості НДР ведеться в людино-днях (табл. 4.1).

У якості дослідників в даній НДР приймали участь: відповідальний виконавець теми (провідний науковий співробітник), інженер-дослідник, лаборант.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість окремих етапів виконання НДР

Етапи НДР	Трудомісткість, людино/день		
	Провідний науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лаборант
1. Постановка задачі та визначення напрямів дослідження	9	6	-
2. Аналіз публікацій	9	9	-
3. Розробка методики проведення робіт	6	5	-
4. Підготовка обладнання	3	3	5
5. Отримання зразків вакуумно-дуговим методом	-	5	5
6. Дослідження структурного стану зразків	7	7	-
7. Обробка результатів	-	10	7
8. Обговорення результатів	5	5	5
9. Оформлення роботи	1	8	-
Разом	40	58	22

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців. Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено у таблиці 4.2.

Денна зарплата визначається як відношення місячного окладу до умовного місяця (для НДР з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Таблиця 4.2 – Рахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1. Провідний науковий співробітник	40	9600	452,8	18112
2. Інженер-дослідник	58	7096,32	334,73	19414,34
3. Лаборант	22	5205	245,51	5401,22
Разом	42927,45			

Величина фонду заробітної плати (ФЗ) визначається як добуток трудомісткості та денної заробітної плати виконавців:

$$\text{ФЗ} = 40 \times 452,8 + 58 \times 334,73 + 22 \times 245,51 = 42924,45$$

4.3.2 Визначення суми єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок – це обов’язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці (підсумок по табл. 4.2).

Відрахування до єдиного соціального внеску складає 22 % від суми загальної заробітної плати: $V_{\text{ЄСВ}} = 42927,45 \times 0,22 = 9444,04$ грн

4.3.3 Витрати на матеріали

Витрати на матеріали (V_M), які необхідні для проведення даної НДР вираховуються виходячи з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання НДР

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Порошок Мо (чистий)	кг	0,5	800	400
Азот N (рідкий)	л	5	18	90
Разом	490			

Транспортно-заготівельні витрати (T_B) складають 10% від планової вартості загальних витрат на матеріали: $T_B = 490 \times 0,1 = 49$ грн.

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити: $V_M = 490 + 49 = 539$ грн.

4.3.4 Витрати на спеціальне обладнання

При виконанні НДР усі роботи проводилися тільки з використанням наявного обладнання в лабораторіях Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». Перелік використаного обладнання показаний в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Перелік наукового устаткування, необхідного для виконання НДР

Найменування устаткування	Модель устаткування
Вакуумно-дугова установка	Булат-6
Дифрактометр	Rigaku ULTIMA IV
Оптичний мікроскоп	MIM-8

4.3.5 Витрати на службові відрядження

При виконанні НДР усі роботи проводилися в лабораторіях Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського».

4.3.6 Інші прямі невраховані витрати

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей (використання обладнання інших організацій, оплата консультацій спеціалістів з інших організацій та інше). При виконанні даної роботи інші прямі невраховані витрати (V_I) складають 10% від суми розрахованих прямих витрат на НДР:

$$V_I = (42927,45 + 9444,04 + 539) \times 0,1 = 5291,05 \text{ грн}$$

4.3.7 Розрахунок накладних витрат

Сумарна величина накладних витрат включає в себе наступні статті:

- 1) заробітна плата адміністративно-управлінського, допоміжного персоналу з єдиним соціальним внеском;
- 2) витрати по утриманню та експлуатації виробничих площ;
- 3) вартість придбання, витрати на утримання та експлуатації устаткування та приладів універсального характеру;

- 4) витрати по охороні праці та техніці безпеки;
- 5) витрати на підготовку кадрів;
- 6) витрати на силову електроенергію;
- 7) інші витрати.

Відсоток накладних витрат складає 20 % від суми всіх прямих витрат за НДР. Таким чином для даної НДР сума накладних витрат складатиме:

$$H_B = (42927,45 + 9444,04 + 539 + 5291,05) \times 0,2 = 11640,31 \text{ грн}$$

4.3.8 Визначення планової калькуляції собівартості НДР

Під калькуляцією собівартості розуміється розрахунок витрат на виконання НДР, які вказані у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Планова калькуляція собівартості НДР

Стаття витрат	Умовні позначення	Сума	
		грн.	%
Заробітна плата виконавців	ФЗ	42927,45	61,46
Єдиний соціальний внесок	В _С	9444,04	13,52
Витрати на матеріали	В _М	539	0,77
Витрати на службові відрядження	-	-	-
Інші прямі невраховані витрати по темі	В _І	5291,05	7,58
Накладні витрати	Н _В	11640,31	16,67
Разом		69841,85	100

4.4 Економічна ефективність науково-дослідної роботи

Для визначення очікуваних результатів та показників економічної ефективності користуються «бальною» методикою. Згадана методика застосована на оцінці ймовірної ефективності роботи за шкалами важливості розробки, можливості використання результатів, теоретичної важливості та рівня новини дослідження і нарешті, за шкалою складності розробки.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- 1) важливість розробки (K_1);
- 2) можливість використання результатів розробки (K_2);
- 3) теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- 4) складність дослідження (K_4).

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- 1) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- 2) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- 3) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- 4) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- 5) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- 1) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- 2) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- 3) результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 5 балів;
- 4) результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;

5) результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

1) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

2) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

3) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

4) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики або щонебудь подібне – 6 балів;

5) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

1) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10000 гривень – 1 бал;

2) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10000 до 50000 гривень – 3 бали;

3) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50000 до 100000 гривень – 5 балів;

4) робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100000 до 200000 гривень – 7 балів;

5) робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200000 гривень – 9 балів.

Бальна оцінка економічної ефективності даної науково-дослідної роботи наведена у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Результати бальної оцінки річної економічної ефективності НДР

Позначення показника ефективності НДР	Сутність показників	Характеристика НДР	Бальна оцінка ефективності
K_1	Важливість розробки	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
K_2	Можливість використання результатів	Результати розробки можуть бути використані багатьма організаціям	5
K_3	Теоретична значимість та рівень новини	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
K_4	Складність розробки	Роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	5

Загальна оцінка Б визначається за формулою 4.1 як добуток коефіцієнтів:

$$B = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (4.1)$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно таблиці 4.6 становить: $B = 3 \times 5 \times 3 \times 5 = 225$.

Умовний річний економічний ефект науково-дослідної роботи визначається за формулою 4.2:

$$E_{\text{НДР}}^y = 200 \times B - E_{\text{Н}} \times 3_{\text{НДР}}, \quad (4.2)$$

де 200 – умовний ефект на один бал, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_H=0,1-0,3$, для нашого розрахунку обираємо $E_H=0,15$);

Z_{HDP} – загальні витрати на роботу.

Таким чином умовний економічний ефект становить:

$$E_{HDP}^y = 200 \times 225 - 0,15 \times 69841,85 = 34523,72 \text{ грн}$$

Коефіцієнт економічної ефективності розраховується за формулою 4.3:

$$E_e = E_{HDP}^y / Z_{HDP} > 0,1 \quad (4.3)$$

$$E_e = 34523,72 / 69841,85 = 0,49$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнту економічної ефективності НДР свідчить про доцільність виконання даної роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Важливою частиною організації виробничого процесу на підприємствах є охорона праці.

Основним завданням охорони праці є розробка методів і засобів захисту робітників від можливих загроз та небезпек на робочому місці, а також запобігання аваріям та ліквідації їх наслідків на виробництві.

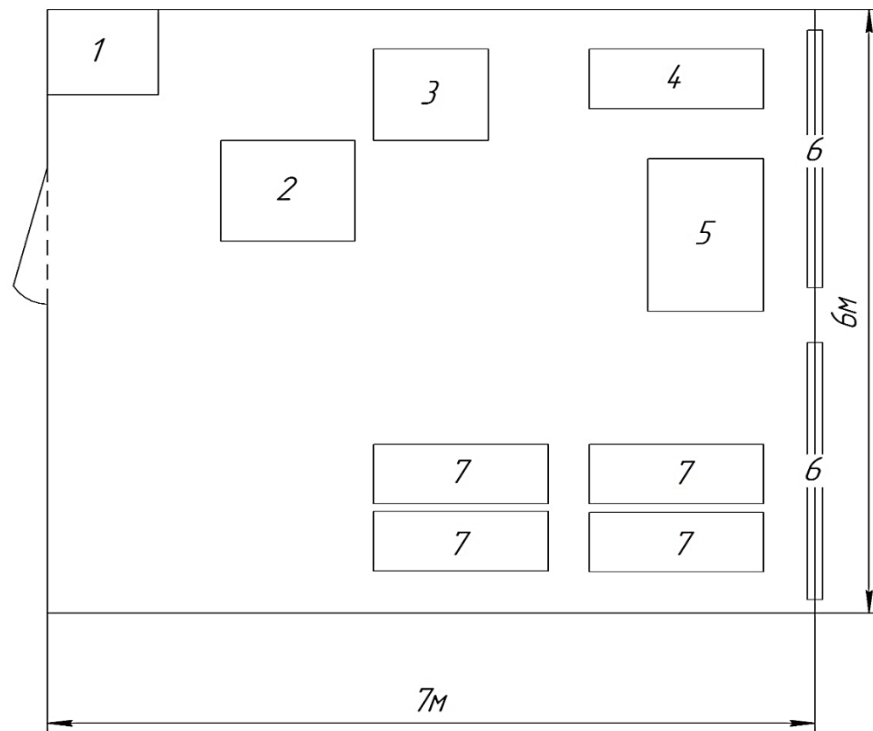
В Україні право людей на безпечні умови праці гарантує Конституція, Закон України «Про охорону праці» та законодавчі і нормативно-технічні акти. В НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» за дотримання норм охорони праці відповідає відділ охорони праці, яким керує Е. Г. Луцик.

Метою даного розділу є аналіз умов праці при виконанні науково-дослідної роботи, аналіз небезпечних та шкідливих факторів, за яких виникає небезпека ураження організму, можливих загроз та шкідливих чинників, а також розробка способів їх ліквідації та нейтралізації.

У даній науково-дослідній роботі вивчається структурний стан та властивості вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену. Дані покриття отримували за допомогою вакуумно-дугової установки «Булат-6».

5.1 Аналіз параметрів приміщення

Отримання та дослідження вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену проводилось на кафедрі металознавства та термічної обробки в лабораторіях Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського» в 307 аудиторії (9 корпус). Схематичне зображення лабораторії представлено на рисунку 5.1.



1 – шафа, 2 – робоче місце з вакуумно-дуговою установкою «Булат-6», 3 – ПК, 4 – шафа для зразків, 5 – стіл для підготовки зразків, 6 – вікно, 7 – робочий стіл

Рисунок 5.1 – Схематичне зображення лабораторії 307 (9 корпус) ІМЗ ім. Є.О. Патона, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»

Приміщення лабораторії має наступні параметри: розміри кімнати 6×7 м, висота стелі – 2,7 м. Площа приміщення складає 42 м^2 , об'єм лабораторії складає – $113,4 \text{ м}^3$.

Кількість працюючих становить 3 особи. Таким чином, на одного працюючого припадає 14 м^2 площі і $37,8 \text{ м}^3$ об'єму, що задовольняє санітарні норми ДСанПіН 3.3.2.007-98 [25].

5.2 Аналіз мікроклімату в робочій зоні приміщення

Для забезпечення оптимального мікроклімату [26] встановлюють оптимальні і допустимі температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря в робочій зоні в залежності від пори року та категорії важкості робіт.

За важкістю робота відноситься до категорії Іб (легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або зв'язані з ходьбою і не потребують важких фізичних систематичних навантажень, затрачується 150 Ккал/год) [27].

Результати дослідження параметрів мікроклімату в лабораторії 307 наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Величини параметрів мікроклімату в лабораторії 307

Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювань	Висновки
			Оптимальне	Допустиме		
легкі Іб	Температура, °С	Теплий	21-23	18-27	22	оптимально
		Холодний	18-20	17-23	21	допустимо
	Відносна вологість повітря, %	Теплий	60-40	65	51	оптимально
		Холодний	60-40	75	47	оптимально
	Швидкість руху повітря, м/с	Теплий	0,2	0,2-0,4	0,16	допустимо
		Холодний	0,2	Не більше 0,3	0,09	допустимо

Значення параметрів мікроклімату суттєво впливають на самопочуття та працездатність людини і, як наслідок цього, рівень травматизму. Тривала дія високої температури повітря при одночасно підвищеній вологості призводить до підвищення температури тіла людини до 38...40 °С, внаслідок чого це призводить до фізіологічних порушень в організмі людини таких як: зміни у серцево-судинній системі, обміну речовин, зміни функцій внутрішніх органів, системі дихання, порушення центральної та периферичної нервових систем.

Для створення необхідних параметрів мікроклімату в приміщенні застосовується природна вентиляція та водяне опалення.

На основі наведених даних можна зробити висновок, що мікроклімат в лабораторії відповідає вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 [27].

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Важливим чинником для забезпечення комфортних умов праці є освітлення робочого приміщення. Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму.

У лабораторії застосоване суміщене освітлення, за якого природне освітлення доповнюється штучним. Природне освітлення забезпечується віконними прорізами, а штучне освітлення створюють люмінесцентні лампи ЛБ-40. Категорія робіт, що виконується у лабораторії відноситься до середньої точності (четвертий розряд зорових робіт).

5.3.1. Розрахунок характеристик природнього освітлення

Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природнього освітлення (КПО). КПО для виробничих та лабораторних приміщень визначається найменшим розміром об'єкту розрізнення, характеристикою та розрядом зорової роботи.

Нормоване значення КПО (e_n) для робочого приміщення можна розрахувати за формулою 5.1:

$$e_n = e_n \times m_n, \quad (5.1)$$

де e_n – значення КПО для робіт середньої точності,
 m_n – коефіцієнт світлового клімату.

Природнє світло потрапляє в приміщення через вікна, які розташовані на південній стороні кімнати. Для південної орієнтації m_n становить 0,85, а значення КПО для робіт середньої точності складає 1,5 %. Підставляючи коефіцієнти у формулу 5.1, отримуємо значення КПО для лабораторії: $e_n = 1,5 \times 0,85 = 1,275$.

5.3.2 Розрахунок параметрів штучного освітлення

Штучне освітлення в лабораторії створюється за допомогою 12 люмінесцентних ламп типу ЛБ-40. Для розрахунку параметрів освітлення існує декілька методів: метод питомої потужності, розрахунок коефіцієнту використання світлового потоку та точковий метод. В даній роботі розрахуємо коефіцієнт використання світлового потоку.

Розрахункове рівняння (5.2) для визначення нормованої освітленості має наступний вигляд [28].

$$\frac{F \cdot N \cdot n \cdot \eta}{K \cdot S \cdot Z} = E, \quad (5.2)$$

- де F – світловий потік, лм;
 E – нормована освітленість, лк;
 S – площа приміщення, що освітлюється, m^2 ;
 K – коефіцієнт запасу;
 Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;
 N – кількість світильників;
 n – кількість ламп у світильнику;
 η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Світловий потік для ламп типу ЛБ-40 становить 3200 лм, коефіцієнт запасу складає 1,5, коефіцієнт нерівномірності – 1,1. В лабораторії знаходиться 6 світильників по дві лампи у кожному, коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,56$. Підставляючи необхідні значення у формулу 5.2, отримаємо наступне значення нормованої освітленості: $E = \frac{3200 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,56}{1,5 \cdot 42 \cdot 1,1} = 310$ лк.

За даними ДБН В.2.5–28–2006 [28] норма освітленості робочого місця становить 300 лк. Розрахована освітленість відповідає нормі, тому штучне освітлення є достатнім для даної лабораторії.

5.4 Аналіз впливу шуму та вібрацій

Устаткування, що встановлене в лабораторії є джерелом шуму та вібрації. Головним шумовим агрегатом буде робота витяжної вентиляції марки С4.70-3.2, яка знаходиться над вакуумно-дуговою установкою «Булат-6». Характер шуму вентиляції тональний. Тривалість роботи вентиляції залежить від тривалості роботи вакуумно-дугової установки (6 години на зміну). Фактичний шум від вентиляції складає 65 дБА. Нормування тонального шуму здійснюється відповідно з ДСТУ 2867-94 [29]. Згідно цих норм загальний рівень шуму в приміщенні лабораторії не повинен перевищувати 75 дБА. Оскільки шум в лабораторії не перевищує встановлені норми, то шкідливого впливу на людину не відбувається.

Шум належить до загальних фізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини. Так, за даними медиків дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо.

Шум – це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності, що виникають в результаті ковалентного руху частинок у пружному середовищі. У відповідності до ДСН 3.3.6.037-99 [30], максимально припустимий рівень шуму у виробничих відділеннях складає 80 дБА.

Шум призводить до захворювань органів слуху, нервової і серцево-судинної систем, тому все встановлене в лабораторії обладнання має відповідати вимогам до шумових характеристик згідно ДСТУ 2867-94.

Вібрація – це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем.

Джерелами вібрації в лабораторії можуть бути машини з обертовими частинами (електродвигуни, тощо). Вібраційна безпека праці в лабораторії забезпечується:

- а) застосуванням амортизаторів для гасіння коливань;
- б) розробкою схем розміщення пристроїв з врахуванням створення мінімальних рівнів вібрації на робочих місцях.

Для зменшення вібрації встановлюють віброізований фундамент і амортизатори під обладнання, для попередження передачі вібрації на будівельні конструкції; відокремлюють дільниці і приміщення стінками і перегородками, які мають досить велику звукоізоляцію. Використовують засоби індивідуального захисту такі як: взуття на віброізолюючій підшві та ін.

5.5 Аналіз забрудненості повітря

Вплив пилу на організм людини залежить від складу пилу та його походження. Нетоксичний пил може викликати подразнення шкіри, при цьому може виникнути захворювання шкіри – дерматит. Якщо пил проникає в легені, то він може викликати таке професійне захворювання, як пневмокніоз.

Молібден, який використовуються в вигляді порошку може утворювати дрібнодисперсний пил. Пил впливає на організм людини переважно як фіброгенний фактор, що викликає подразнення слизових оболонок дихальних шляхів та осідаючи в легенях практично не потрапляє до кровообігу внаслідок поганої розчинності в біологічних середовищах (кров, лімфа). Найбільшу небезпеку чинить дрібнодисперсний пил. Такий пил, на відміну від пилу з великою дисперсністю, практично не осідає в повітрі приміщення, а знаходиться у підвішеному стані і легко потрапляє до легень.

Для захисту органів дихання від попадання в них пилу в даній роботі слід використовувати протипилові респіратори. Для локалізації шкідливих речовин також встановлена механічна витяжна вентиляція марки С4.70-3.2 наведено на рисунку 5.2.

5.6 Інженерні рішення

5.6.1 Вентиляція приміщення лабораторії

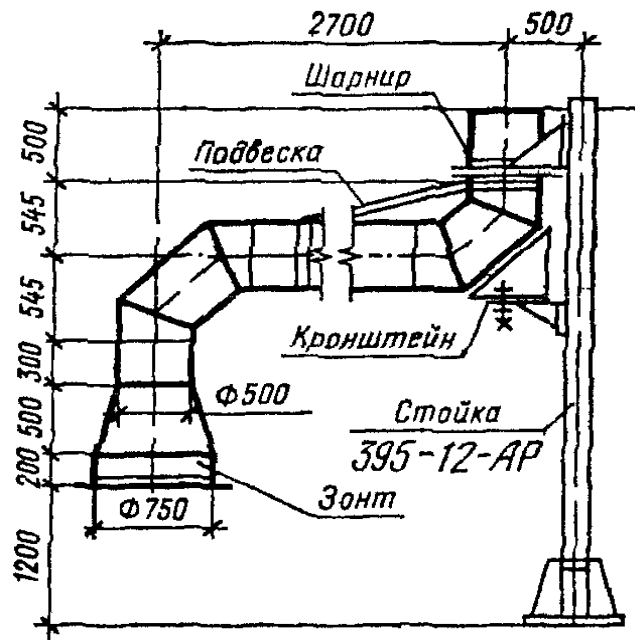


Рисунок 5.2 – Вентиляція марки С4.70-3.2

В лабораторії встановлена витяжна вентиляція марки С4.70-3.2, що складається з витяжного отвору, через який повітря видаляється з приміщення. При роботі витяжної системи чисте повітря потрапляє в приміщення через несутільності в конструкціях. Це є суттєвим недоліком, так як неорганізований потік холодного повітря (протяги) можуть викликати простудні захворювання, тому в холодний період року необхідна додаткова подача тепла.

5.6.2 Електробезпека

Живлення всього обладнання в лабораторії здійснюється від мережі з напругою 220 В. Аудиторія 307 відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Електробезпека значною мірою залежить від вологості і температури повітря в приміщенні, ступеня електропровідності підлоги і стін, наявності в повітрі хімічних речовин й електропровідного пилу.

Безпека експлуатації роботи електроустаткування забезпечується наступними захисними заходами: періодичною перевіркою стану ізоляції та недоступністю струмоведучих частин. На дію електричного ураження впливає ряд факторів: величина струму (1 мА), рід струму (струм перемінний), частота струму (50 Гц), шлях струму в організмі, тривалість дії струму, стан організму, виробниче середовище.

При розробці захисних заходів безпечним вважається струм у 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною у 100 мА може призвести до смертельного наслідку.

В 307 лабораторії правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусу, електроустаткування і приладів.

Можливими випадками ураження електричним струмом у даній лабораторії є ураження при пошкодженні ізоляції і заземлення печей та електричного обладнання або при пошкодженні розетки.

5.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.7.1 Пожежна безпека

Категорія пожежної небезпеки приміщення (будівлі, споруди) – це класифікаційна характеристика пожежної небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в них з урахуванням особливостей технологічних процесів, розміщених в них виробництв.

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [31], приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). Якісним критерієм вибухопожежної небезпеки приміщень (будівель) є наявність в них речовин з певними показниками вибухопожежної небезпеки. Кількісним критерієм визначення категорії є надмірний тиск (Р), який може з'явитися при

вибуховому загорянні максимально можливого скупчення (навантаження) вибухонебезпечних речовин у приміщенні.

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 лабораторія 307 має ознаки категорії В та Г, оскільки в приміщенні знаходиться вакуумно-дугова установка, за допомогою якої проводять нанесення покриттів методом випаровування-розпилення (категорія Г). Також згідно з НАПБ Б.03.002-2007 лабораторію 307 можна віднести до категорії В, оскільки в лабораторії наявні горючі елементи.

У приміщенні лабораторії 307 в наявності є вогнегасник ВВ-8 [32]. Своєчасне виявлення ознак займання і виклик пожежних підрозділів дає можливість швидко локалізувати осередки пожежі та провести заходи щодо її ліквідації.

5.7.2 Безпека в аварійних ситуаціях

Надзвичайні ситуації виникають в результаті порушень технологічних процесів промислового виробництва, коли навантаження перевищують допустимі норми, виникають високі температури, вібрації, діють агресивні середовища, можуть спалахнути мінеральні масла, нафтопродукти та ін.

Інша причина – порушення правил експлуатації обладнання, що сприяє вибухам та пожежам.

У випадку виходу з ладу устаткування необхідно відключити рубильник і довести до відома про це лаборанта. У випадку потрапляння будь-кого під напругу, необхідно відключити устаткування від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103, і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання. У випадку загоряння установки необхідно відключити рубильник, викликати державну службу з надзвичайних ситуацій за телефоном 101 та приступити до гасіння пожежі за допомогою наявних в лабораторії засобів пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це лаборанта або посадових осіб та звернутися в медпункт.

План евакуації у разі надзвичайних ситуацій у лабораторії 307 9 корпусу НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» приведений на рисунку 5.3.

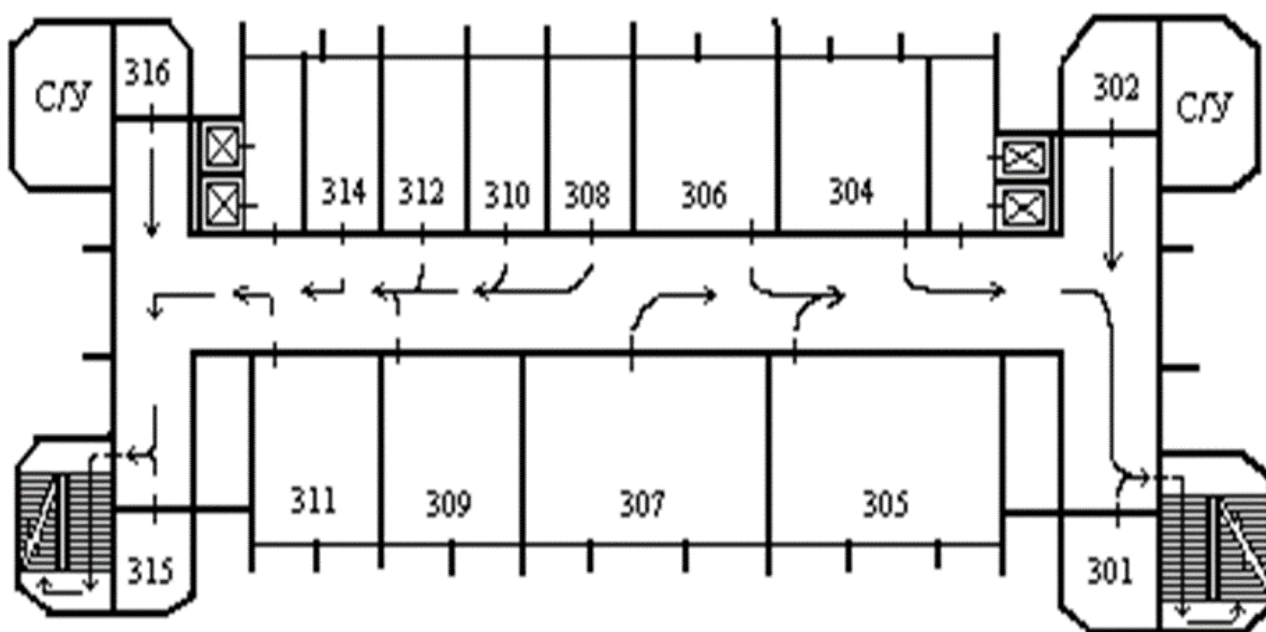


Рисунок 5.3 – План евакуації з приміщення лабораторії

ВИСНОВКИ

1. Доцільність застосування вакуумно-дугових покриттів нітриду молібдену обґрунтована їх надвисокою твердістю, низьким коефіцієнтом тертя та низькою розчинністю в фазі кольорових металів та сплавів. Ці характеристики є основними у використанні таких покриттів на промислових виробництвах.

2. Підібраний комплекс оптимальних методів та режимів отримання покриттів нітриду молібдену за допомогою установки «Булат-6» з подальшим дослідженням за допомогою дифрактометра Rigaku ULTIMA IV, оптичного мікроскопу МІМ-8, мікроіндентора «Micron-gamma» та машини тертя «Micron-tribo».

3. Встановлено, що твердість покриттів Мо-N залежать від параметрів даного методу, у випадку вакуумно-дугового напилення твердість досягає максимальної величини 55 ГПа, а коефіцієнт тертя – 0,12-0,15, у випадку отримання таких покриттів у плазмі стисненого вакуумно-дугового розряду твердість буде дещо меншою – 40-45 ГПа, проте коефіцієнт тертя зміниться в кращу сторону – 0,065-0,085, але з врахуванням структури таких покриттів оптимальнішим буде отримання у плазмі стисненого розряду, тому що при вакуумно-дуговому напиленні будуть утворюватися «макрочастинки» та конденсована (крапельна) фаза, що значно знижують якість таких покриттів.

4. Розраховано організаційно-економічну частину для отримання коефіцієнту оцінки економічної ефективності і він складає 0,49 при нормі $>0,15$, це означає, що робота є високої ефективності і доречна для подальших досліджень.

5. Проведено аналіз потенційних небезпек, які можуть виникнути під час роботи, організацію робочого місця, освітлення, мікроклімату, рівня шуму та вібрацій. Робоча лабораторія вакуумно-дугового отримання покриттів відповідає всім санітарним нормам.

CONCLUSIONS

1. The feasibility of using vacuum-arc coating of molybdenum nitride due to their use of ultra-high hardness, low coefficient of friction and low solubility in the phase of non-ferrous metals and alloys. These characteristics are main in the use of such coatings in industrial production.

2. A set of optimal methods and modes of obtaining molybdenum nitride coating using Bulat-6 units with further study using Rigaku ULTIMA IV diffractometer, MIM-8 optical microscope, Micron-gamma microindenter and Micron-tribo production machines.

3. It is established that the hardness of the Mo-N coating depends on the parameters of this method, in the case of vacuum-long beverage hardness reaches a maximum value of 55 GPa and the coefficient of friction is 0,12-0,15, provided that such coating are obtained in compressed vacuum plasma-arc discharge hardness will be slightly lower – 40-45 GPa, the coefficient of friction varies in the best side – 0,065-0,085, but thanking into account the structure of such coatings will be better in compressed discharge plasma, because in the vacuum-arc method created macroparticles and condensed (drip) phase, which increases the decrease in the quality of such coatings.

4. Calculation-organizational-economic part to obtain the coefficient of evaluation of economic efficiency and it is 0,49 at a rate of $>0,15$, which means that the work is highly efficient and appropriate for further research.

5. An analysis of potential hazards that may occur during work, the organization of the workplace, lighting, microclimate, noise and vibration. The working laboratory of vacuum-arc coating meets all sanitary standards.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Н.Н. Моргунова, Б.А. Клыпін, В.А. Боярши́в, Л.А. Тараканов, Ю.В. Манегин. Сплавы молибдена. М.: «Металлургия», 1975.
2. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. - М. Машиностроение, 1965. - 491 с.
3. Бобров Г.В., Ильин А.А. Нанесение неорганических покрытий // М. Интернет инжиниринг. 2004. С. 93-95.
4. Бобров Г.В., Митин Б.С., Никитин М.М., Шехов В.Б. Защитные покрытия, получаемые высокотемпературным распылением // М. изд. МФТИ. 1983. С. 201.
5. М.К. Kazmanli, M. Urgan, A.F. Cakir. Effect of nitrogen pressure, bias voltage and substrate temperature on the phase structure of Mo-N coatings produced by cathodic arc PVD // Surface and coatings Technology. 2003, v. 167, p. 77–82.
6. Н.С. Ломино, В.Д. Овчаренко, Г.Н. Полякова, А.А. Андреев, В.М. Шулаев. Межэлектродная плазма вакуумной дуги в атмосфере азота // Вакуумные технологии и оборудование. Харьков, 2002 с. 202–222.
7. Н. Jehn, P. Ettmayer. The Molybdenum – nitrogen phase diagram // J. Less – Common Metals. 1978, v. 58, p. 85-98.
8. В.М. Шулаев, А.А. Андреев, Г.Н. Карتماзов. Об эффекте прироста твердости в покрытиях нитрида молибдена // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники». 2006, №1, с. 197-200.
9. А.В. Бякова. Влияние структурного состояния покрытий из нитрида титана на их прочность // Сверхтвердые материалы. 1992, №5, с. 30-37.
10. И.И. Аксенов. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005.
11. А.А. Андреев, Л.В. Булатова, А.С. Булатов, Г.Н. Карتماзов, Т.В. Кострица, А.А. Романов. Структура высокотвердых покрытий на основе молибдена, полученных при конденсации плазмы вакуумно-дугового разряда // Металловедение и термическая обработка металлов. 1981, №5, с. 33-35.

12. И.И. Аксенов, Ю.П. Антуфьев, В.Г. Брень, В.Г. Падалка, А.И. Попов, В.М. Хороших. Влияние замагниченности электронов плазмы вакуумной дуги на кинетику реакций синтеза нитридсодержащих покрытий // ЖТФ. 1981, т. 51, в. 2, с. 303-309.

13. И.И. Аксенов, А.А. Андреев, В.Г. Брень, С.И. Вакула, И.В. Гаврилко, Е.Е. Кудрявцева, В.В. Кунченко, В.В. Ло ошко, Ю.Т. Мирошниченко, В.Г. Падалка, А.А. Романов, Л.И. Сопрыкин, В.Е. Стрельницкий, В.Т. Толок, В.М. Хороших, А.М. Чикрыжов. Покрытия, полученные конденсацией плазменных потоков в вакууме (Способ онденсации с ионной бомбардировкой) // УФЖ. 1979, т. 24, №4, с. 515-525.

14. Л.И. Гетьман, Е.Г. Гольдинер, Г.Н. Гутник. Усовершенствование установок «Булат-3Т» и перспективы их модернизации // Опыт эксплуатации и повышение эффективности использования установок «Булат»: Обзор. М.: ЦНИИАтоминформ, 1986.

15. Андреев А.А., Саблев Л.П., Григорьев С.Н. Вакуумно-дуговые покрытия. // - Харьков, ННЦ ХФТИ, 2010. – 318 с.

16. ISO 14577-1:2015. Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 1: Test method.

17. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Печковский Э.П. Мамека Н.А. Связь прочностных характеристик материалов с показателями автоматического индентирования. *Материаловедение*. М: Изд-во Наука и Технологии, 2007. № 11. С. 26–31.

18. Горбань В.Ф., Печковский Э.П. Связь параметров упругости, полученных методом инструментального индентирования, со структурным состоянием материала. *Порошковая металлургия*. 2010, № 7/8. С. 55–62.

19. Urgen M., Eryilmaz O., Cakir A., Kayali E., Nilufer B., Isik Y. Characterisation of molybdenum nitride coatings produced by arc-PVD technique //Surf. Coat. Tech. – 1997. – Vol. 94-95. – P. 501-506.

20. Kazmanli M.K., Urgen M., Cakir A.F. Effect of nitrogen pressure, bias voltage and substrate temperature on the phase structure of Mo-N coatings produced by cathodic arc PVD//Surf. Coat. Tech. – 2003. – Vol. 167. – P. 77-82.

21. Андреев А.А., Брень В.Г., Калинин А.Т., Кунченко В.В. и др. О плазменном нанесении покрытий на упрочняемую сталь с низкой температурой отпуска//Защита металлов. –1978. – Т. XIV, № 5. – С. 551-557.

22. Кунченко Ю., Кунченко В., Картмазов Г., Неклюдов И.М. О формировании микро-, нанослойных покрытий методом вакуумно-дугового осаждения//Физическая инженерия поверхности. – 2005. – Т. 2, № 1. – С. 102-108.

23. Шанк Ф. Структуры двойных сплавов. – М.: Металлургия., 1973.

24. Горбань В.Ф., Закиев И.М., Саржан Г.Ф. Исследование характеристик трения нитридных покрытий// Трение и износ. 2016, №3. с.156-160.

25. ДСанПіН 3.3.2.007-98 – Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електроннообчислювальних машин.

26. Левченко О.Г. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / О.Г. Левченко // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 26,1 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с.

27. ДСН 3.3.6.042-99. – Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

28. ДБН В.2.5-28 2006 – Інженерне обладнання будинків і споруд // Природне та штучне освітлення, затверджені наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. – 2006. – Т. 15.

29. ДСТУ 2867-94. – Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.

30. ДСН 3.3.6.037-99. – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

31. НАПБ Б.03.002-2007 – Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

32. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, №424/3717 від 30.06.1999 р.