

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технічний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Факультет матеріалознавства

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження структури та властивостей полімерів  
на основі матеріалів BT3-1

Виконав: студент VI курсу, групи ІР-212м  
спеціальності (напряму підготовки)

132 матеріалознавство

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Доминко Г.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанова Л.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Щеменко Р.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя  
2017 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**  
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інститут Фізичний  
 Кафедра Фізичне матеріалознавство  
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр  
 Спеціальність 132 матеріалознавство  
 (код і назва)  
 Напрямок підготовки Приміадне матеріалознавство  
 (код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри 

"01" 12 2017 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Домітло Ярослав Валентинович  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження структури та властивостей покриттів на основі титанового сплаву BT3-1

керівник проекту (роботи) Степанова Любов Петрівна  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "03" 10 2017 року № 375

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.17

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Схема деталізаційного методу, хімічний склад титанового сплаву BT3-1, хімічний склад покриттів для покриття покриттів, побудови даних титанових відносини доз.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Хімічний склад; 2. Матеріали і методи дослідження; 3. Дослідження і аналіз результатів; 4. Експериментальний розділ; 5. Оцінка праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Характеристика деталізаційного методу покриттів покриттів; Матеріали для покриттів покриттів; Мікратуристура покриттів (x3); Розрахунок складу властивості покриттів; Розрахунок складу покриттів; Мікратуристура покриттів покриттів

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ                           | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|                                  |                                           | завдання видав | приймав виконане завдання |
| Аналітичний огляд                | Степанова Л.П. К.Т.Н., доцент             |                |                           |
| Матеріали і методика досліджень  | Степанова Л.П. К.Т.Н., доцент             |                |                           |
| Дослідження і аналіз результатів | Степанова Л.П. К.Т.Н., доцент             |                |                           |
| Економіч. оцінка                 | Крушніков В.В., доцент каф. ПТБД          |                |                           |
| Оцінка ризиків                   | Нестеров О.В., доц.                       |                |                           |
| Безпека                          |                                           |                |                           |
| Н.Контрфакт                      | Железов О.В., доц. каф. ФМ                |                |                           |

7. Дата видачі завдання 05.09.2017

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)        | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний огляд                               | 20.09.17                                |          |
| 2     | Матеріали і методика досліджень                 | 03.10.17                                |          |
| 3     | Дослідження і аналіз результатів                | 20.10.17                                |          |
| 4     | Економічний розділ                              | 08.11.17                                |          |
| 5     | Оцінка ризиків та безпеки у подальшому розвитку | 20.11.17                                |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |
|       |                                                 |                                         |          |

Студент

Дар  
(підпис)

Долішніс Л.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Железов О.В.  
(підпис)

Степанова Л.П.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: с. 74, рис. 21, таб. 28, джерел 19.

Метою дипломної роботи є дослідження властивостей та структури покриттів на лопатках компресора авіадвигуна, що виготовлені детонаційним методом. Для проведення досліджень використовувався металографічний метод, рентгеноструктурний, та лінійний метод для визначення пористості. Об'єктом дослідження були зразки лопаток зі сплаву ВТЗ-1, з нанесеними покриттями з порошків: ВКНА, ПКХН-15 та ПХ20Н80.

Дипломна робота дає поняття про наступні питання: фізична сутність газотермічних методів нанесення покриттів, мета їх використання; методи нанесення покриттів та їх порівняння; переваги детонаційного методу нанесення покриття; характеристика та хімічний склад порошків для наплення детонаційним методом; аналіз умови роботи деталей авіадвигунів; технологія виготовлення лопаток зі сплаву ВТЗ-1, структура і механічні властивості сплаву ВТЗ-1.

Як результат, був визначений фазовий склад покриттів: в покритті ВКНА виявлені фази  $\text{Ni}$ ,  $\text{NiAl}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Al}$ ,  $\text{Ni}_2\text{Al}_3$ , в покритті ПКХН-15 -  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , в покритті ПХ20Н80 виявлені фази  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Також визначена мікротвердість покриттів після ультразвукового зміцнення, як результат покриття з порошку ПКХН-15 добре піддається додатковому зміцненню тому є кращим варіантом для нанесення покриття на лопатку.

НАПИЛЕННЯ; ПОКРИТТЯ; ДЕТОНАЦІЙНИЙ МЕТОД; ЛОПАТКА  
ВЕНТИЛЯТОРА; МІКРОСТРУКТУРА; ДИФРАКТОГРАМА;  
ВЛАСТИВОСТІ; ПОРИСТИСТЬ

## ЗМІСТ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....                                                                  | 6  |
| 1.1 Фізична сутність газотермічних методів нанесення покриттів, мета їх використання ..... | 6  |
| 1.2 Порівняльна характеристика і структура покриттів.....                                  | 10 |
| 1.3 Переваги детонаційного методу нанесення покриттів.....                                 | 15 |
| 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....                                                    | 19 |
| 2.1 Умови роботи лопатки вентилятора виготовленого із титанового сплаву ВТЗ-1.....         | 19 |
| 2.2 Характеристика та хімічний склад порошків.....                                         | 20 |
| 2.3 Методика виявлення мікроструктури і визначення фазового складу покриттів .....         | 22 |
| 2.4 Методика виміру мікротвердості і визначення пористості покриттів ....                  | 23 |
| 2.5 Сутність процесу ультразвукового зміцнення .....                                       | 24 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ.....                                                    | 25 |
| 4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....                                                                  | 42 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ....                                   | 56 |
| Висновки .....                                                                             | 71 |
| Перелік літератури .....                                                                   | 73 |

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Фізична сутність газотермічних методів нанесення покриттів, мета їх використання

Під час довгої експлуатації машин зношування деталей супроводжується зниженням службових властивостей, що в свою чергу викликає передчасний вихід з ладу окремих деталей конструкцій. Зношення робочих поверхонь деталей завжди потребує їх заміни.

В багатьох випадках виготовлення деталей повністю зі зносостійкої легованої сталі є нераціональним у зв'язку із складністю обробки і високою вартістю сталі. Тому для вирішення задач підвищення експлуатаційних показників і збільшення терміну служби деталей машин використовують різні способи поверхневого зміцнення, зокрема наплавлення та напилення.

Напилення уявляє собою процес нанесення покриття на поверхню деталі за допомогою високотемпературного швидкісного струменя, який містить частинки порошку або краплі розплавленого напилюваного матеріалу, котрі осідають на основному металі під час ударного зіткнення з його поверхнею [1].

Існуючі технології напилення в залежності від джерела теплової енергії, яка використовується, можна поділити на два основних види: газополумене напилення, при якому використовується теплота, котра виділяється при згорянні суміші горючого газу з киснем, та електричне напилення, засноване на використанні тепла, яке виділяється при горінні електричної дуги.

Переваги технології напилення:

- можливість нанесення покриття на вироби, виготовлені з різного роду матеріалів;
- можливість напилення різних матеріалів за допомогою одного і того ж обладнання;
- відсутність обмежень за розміром та формою виробів;
- можливість відновлення зношених поверхонь;
- широкий вибір матеріалів для напилення;

- невелика деформація виробів під впливом напилення;
- простота технологічних операцій напилення та обладнання, відносно невелика трудомісткість, висока продуктивність нанесення покриття;

Недоліки технології напилення:

- невелика ефективність нанесення покриття на дрібні вироби внаслідок низького коефіцієнта використання напиляемого матеріалу (відношення маси покриття до загальної маси витраченого матеріалу);
- шкідливі умови роботи операторів під час попереднього оброблення поверхні виробів;
- виділення диму та аерозолів під час напилення [2].

При будь-якому способі напилення поверхня основного матеріалу розташовується зазвичай на відстані не менше 100 мм від зрізу сопла пальника. Покриття утворюється з окремих розплавлених або близьких до цього стану частинок внаслідок удару та нашарування на поверхню основи.

Під час руху до основного металу у високотемпературному газовому середовищі частинки знаходяться в розплавленому стані та їх поверхня покривається оксидною плівкою. При зіткненні з поверхнею основного матеріалу або поверхнею раніше утвореного покриття частинки розплющуються і утворюється тонкий шар, який механічно зчеплений з поверхнею основного матеріалу або покриття.

При напиленні металів швидкість охолодження частинок складає  $10^6 - 10^8$  °C/с, а при напиленні кераміки –  $10^4 - 10^6$  °C/с, тобто кристалізація рідких частинок завершується у продовж незначного проміжку часу. Налипання частинок здійснюється за рахунок їх механічного зчеплення з макровиступами основи та місцями руйнування оксиду основи. Цей механізм адгезії покриття називають анкерним ефектом [3].

Крім механічного зчеплення, міцність зчеплення покриття з основним матеріалом забезпечується за рахунок низки інших механізмів (дифузії компонентів покриття до основного матеріалу, сплавлення, хімічної взаємодії). Оскільки частинки напиляемого матеріалу мають оксидну плівку,

їх зчеплення з поверхнею основного матеріалу на деяких мікроділянках проходить крізь оксидні плівки.

Тому для отримання покриття з високою міцністю зчеплення необхідно щоб перед напиленням поверхня основного металу (температура якого при напиленні не повинна перевищувати оптимальної) була вкрита лише тонкою оксидною плівкою, наприклад такою, якою вона буває після механічної обробки для надання поверхні виробу певної шорсткості.

Технологічний процес напилення виробів передбачає проведення наступних операцій.

1. Попередня обробка поверхні основного металу для забезпечення доброї адгезії частинок напиляемого матеріалу.
2. Напилення.
3. Термічна обробка для ущільнення покриття.
4. Чистове очищення поверхні покриття.

Для забезпечення задовільної адгезії частинок основа повинна бути достатньо шорсткою. В тих випадках, коли адгезія покриття переважно залежить від сплавлення напиляемого матеріалу з матеріалом основи або від утворення хімічних сполук в перехідній зоні, попередня обробка виробу повинна включати очищення поверхні. Попередня обробка поверхні виробу для надання їй шорсткості – важливий захід по збільшенню площі поверхні основи та активності основи [4].

Для усунення з поверхні жирів та масел використовують промивання розчинником, наприклад бензолом, піробензолом, трихлоропреном, парами трихлоретилена та іншими.

Для усунення з поверхні виробів оксидної плівки вироби піддають дробоструменевій або пікоструменевій обробці з використанням сталюого дробу, кварцевого та глиноземного піску.

Нанесення покриття слід починати невдовзі після завершення попередньої обробки поверхні, оскільки тривала витримка активованої

поверхні з великою ефективною площею супроводжується активним її окисленням, що знижує міцність зчеплення покриття з основним металом.

Для оптимізації режиму напилення необхідно враховувати такі фактори як характеристика джерела нагріву (вид робочого газу, його витрати, потужність), хімічний склад, теплофізичні властивості, форму, гранулометричний склад або діаметр (у випадку дротового та пруткового) напиляемого матеріалу, склад металу основи, розмір та форму виробу, стан його поверхні, температуру основи, кут та дистанцію напилення.

Напилені покриття за своєю структурою є пористими і потребують застосування заходів по її усуненню. Один із способів ліквідації пор – нанесення шару фарби на поверхню покриття. Знаходить застосування також спосіб заповнення пор за рахунок пропитування покриття спеціальними смолами або масляними розчинами. Для покриттів, які були напилені сплавами, що самофлюсуються, проводять оплавлення покриттів після їх нанесення. Для поліпшення механічних властивостей та термостійкості покриттів їх іноді піддають наступній термообробці.

Після напилення поверхня виробів є нерівною і шорсткою, що потребує наступного механічного оброблення, яке здійснюється різанням або мокрим шліфуванням.

При необхідності пропитування пор його бажано проводити до чистового механічного оброблення покриття, щоб виключити потрапляння в пори забруднень: охолоджуючої рідини, дрібної стружки та інших.

Напилення має відмінні риси, знання яких необхідне для вірного вибору технології нанесення покриття для кожного окремого випадку. Для вибору оптимального способу нанесення покриття необхідно враховувати форму і розміри виробів, вимоги, які висуваються до точності нанесення покриття, його експлуатаційних властивостей, витрати на основне і допоміжне обладнання, наплавочні матеріали і гази, на попередню і кінцеву обробку покриття, умови праці та на інші фактори виробничого і соціального характеру [5].

## 1.2 Порівняльна характеристика і структура покриттів

Існують наступні методи напилення:

### 1. Газополуменеве напилення.

Газополуменеве напилення в залежності від стану напиляемого матеріалу може бути трьох типів: напилення дротом, прутком і порошком.

В обох випадках напиляємий матеріал подають через центральний отвір пальника і розплавлюють полум'ям пальної суміші. Розплавлені частинки металу підхоплюються струменем стисненого повітря і в дрібнорозпиленому вигляді транспортуються до поверхні виробу. Дріт подається із заданою швидкістю роликами, які приводяться в рух впровадженою в пальник повітряною турбіною або електродвигуном через редуктор.

Для напилення зазвичай використовують дріт діаметром не більше 3 мм, однак під час напилення легкоплавкими металами (алюміній, цинк і т.п.) для підвищення продуктивності процесу допускається використання дроту діаметром 5-7 мм.

При порошковому напиленні дисперсні частинки потрапляють у пальник із бункеру через отвір, прискорюється потоком транспортуючого газу (суміш кисню з пальним газом) і на виході із сопла потрапляють в полум'я, де відбувається їх нагрівання. Частинки порошку, захоплені струменем гарячого газу, потрапляють на поверхню, що напиляється.

Після напилення іноді проводять оплавлення покриття для зменшення пористості. Технологія газополуменевого напилення досить проста, а вартість обладнання і витрати на експлуатацію низькі. В зв'язку з цим даний спосіб знайшов найбільш широке застосування на практиці.

### 2. Детонаційне напилення.

Принцип напилення: в циліндричну водоохолоджувальну камеру діаметром 25,4 мм подається кисень і ацетилен в визначених об'ємах; стовбур направляється на оброблювану деталь. Потім через спеціальний

отвір в камері азотом подається порошок напиляемого матеріалу, наприклад, карбід вольфраму з додаванням невеликої кількості інших компонентів.

Газову суміш, в якій у зваженому стані знаходиться напиляємий порошок, підпалюють електричною іскрою. В результаті вибуху суміші відбувається виділення тепла і утворюється ударна хвиля, яка розігріває та прискорює частинки порошку в напрямку до поверхні виробу.

Азот і пальний газ виходять зі стовбуру одразу після вибуху, потім стовбур продувається азотом для видалення продуктів спалювання. Процес повторюється з частотою 3-4 цикли в секунду. За один цикл напилення отримують покриття товщиною  $\sim 6$  мкм. Напилення здійснюють до отримання покриття заданої товщини (0,25–0,3 мм).

Під час вибуху порошковий матеріал набуває великої кінетичної енергії, так що швидкість частинок на відстані 75 мм від зрізу стовбуру установки складає  $\sim 820$  м/с. При розташуванні поверхні основного матеріалу на указаній відстані порошок в момент зіткнення з поверхнею розігрівається до температури  $4000^{\circ}\text{C}$ . Висока швидкість руху частинок та їх розігрівання при детонаційному напиленні забезпечують отримання покриття високої щільності і міцності зчеплення з основою. При цьому температура основного матеріалу залишається низькою, що виключає його деформацію або іншу фізичну зміну, що дозволяє використовувати цей спосіб напилення для прецизійних деталей.

### 3. Дугова металізація.

Принцип напилення: через два канали в пальнику безперервно подають два дроти (діаметром 1,5–3,2 мм), між кінцями яких збуджується дуга і відбувається розплавлення дроту. Розплавлений метал підхоплюється струменем стисненого повітря, яке витікає з центрального сопла електрометалізатора, і в дрібнорозплавленому вигляді переноситься на поверхню основного матеріалу.

Температура дуги залежить від виду газу, який транспортують, складу електродного дроту, режимів напилення та інших параметрів. При

використанні металевих електродів і силі струму дуги 280 А досягається температура  $\sim 6100 \pm 200$  К. Під час дугової металізації, яка проходить при такій температурі, легше утворюються краплі напиляемого матеріалу.

Переваги дугової металізації полягають у підвищеній продуктивності та низькій тривалості процесу. У порівнянні з газополуменевим напиленням електрометалізація дозволяє отримувати більш міцні покриття, які краще з'єднуються з основою. Дугова металізація дозволяє отримувати псевдосплавні покриття при використанні електродів із різних матеріалів.

До числа недоліків дугового напилення відноситься небезпека перегрівання і окислення напиляемого матеріалу при малих швидкостях подачі розпиляемого дроту. Крім того, велика кількість тепла, яка виділяється при горінні дуги, призводить до значного вигорання легувальних елементів, які входять в напиляемий сплав (наприклад, вміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40-60%, а кремнію і марганцю – на 10-15%).

#### 4. Плазмове напилення.

Газ, в якому значна частина атомів або молекул іонізована (іонізація – втрата атомами електронів), а концентрація електронів і від'ємних іонів дорівнює концентрації позитивних іонів, називається плазмою. Плазма, яка в цілому є квазінейтральною, не має електричного заряду. Характерна риса плазми – висока електропровідність. Звичайна електрична дуга також знаходиться в плазмовому стані.

Між катодом (з чистого вольфраму або з додаванням 2% торію) і мідним водоохолоджуємим соплом, яке виконує роль анода, з'являється дуга, яка забезпечує іонізацію робочого газу. В ролі робочого газу використовують аргон або азот, до яких іноді додають водень.

Порошковий наплавочний матеріал подається в сопло струменем транспортуючого газу, нагрівається плазмою і з прискоренням переноситься до поверхні основного матеріалу для утворення покриття.

Плазмове напилення має ряд важливих переваг: висока температура плазми дозволяє проводити напилення важкотопкими матеріалами; можливе регулювання температури і швидкості плазмового струменя; завдяки вибору форми і діаметра сопла та режиму напилення розширює діапазон напиляємих матеріалів (метали, кераміка і органічні матеріали); використання інертного газу в ролі робочого газу відкриває можливість напилення в камерах з атмосферою інертного газу.

Покриття, отримані методом плазмового напилення, мають високу адгезію і добре зчеплення з основою. Порівняно низька продуктивність процесу напилення, шум під час роботи, висока вартість обладнання, великі експлуатаційні витрати та інтенсивне ультрафіолетове опромінення обмежує використання цього способу.

#### 5. Електроімпульсне нанесення покриттів.

Цей спосіб засновано на імпульсному розряді конденсатора через дріт напиляемого металу. При цьому проходить вибухове розплавлення дроту і осаджування розплавлених дрібних частинок металу на поверхню виробу.

Електророзрядний ланцюг, який використовується для нанесення покриття, уявляє з себе коливальний контур і характеризується такими даними: ємність конденсатора 100 мкФ, максимальне напруження зарядного струму 30 кВ, власна частота коливань електророзрядного ланцюга 25 кГц. Для напилення використовують металевий, наприклад, вольфрамовий дріт діаметром 0,5–1,0 мм і довжиною 20–150 мм.

При розряді в оптимальному режимі біля 40% маси дроту перетворюється в газ, а останні 60% - в краплі розплавленого металу, які зіштовхуються з поверхнею основного матеріалу.

При зіткненні з поверхнею основного матеріалу швидкість руху досягає декількох сот метрів за секунду. Рух частинок до основного матеріалу проходить за рахунок різкого розширення газу під час вибуху і виштовхування повітря з зони вибуху, що майже повністю виключає окислення частинок, а як наслідок, забезпечує отримання щільного покриття

з високою міцністю зчеплення з основним матеріалом. Недолік електроімпульсного напилення полягає в тому, що його застосування можливе лише для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь електропровідних матеріалів.

Вище сказане про газотермічні методи нанесення покриттів говорять про те, що в силу специфічних властивостей покриттів що наносять та умов експлуатації відновлюваних деталей авіаційної техніки. Порівняння характеристик газотермічних методів приведено в таблиці 1.1, вони підтверджують перевагу детонаційного покриття по міцності зчеплення, густині, області використання. Виходячи з цього подальший розвиток методу газотермічного напилення покриттів пов'язано з застосуванням технологій та обладнання детонаційного нанесення зносостійких, жаростійких, корозійних і спеціальних захисних покриттів, володіючих високою густиною (пористість менше 1%) і адгезійною міцністю з основою (160 – 360 МПа).

Таблиця 1.1 – Порівняльні данні газотермічних способів напилення

| Спосіб<br>напилення | Площа покриття,<br>напиленого за 1<br>год. роботи, м <sup>2</sup> | Міцність<br>зчеплення,<br>МПа 10 <sup>-1</sup> | Пористість, % | Вид покриття |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------|--------------|
| Газополуменевий     | 0,45-1,00                                                         | 2-3                                            | 8,0-16,0      | 1,2          |
| Плазмовий           | 0,20-0,50                                                         | 3-5                                            | 3,0-4,0       | 2,3,4        |
| Детонаційний        | 0,10-0,30                                                         | 10-20                                          | 0,5-1,0       | 3,4,5        |
| Електродуговий      | 6,00-8,00                                                         | 2-4                                            | 5,0-10,0      | 1,2,3        |

В таблиці 1.1 “Вид покриття”

- 1 – антифрикційні для роботи в умовах змащення;
- 2 – ущільнювальні;
- 3 – зносостійкі при високотемпературному сухому терті;
- 4 – теплоізоляційні;
- 5 – зносостійкі при особливо жорстких умовах експлуатації.

Впровадження методу в виробництво потребує проведення глибоких досліджень з врахуванням усієї специфіки процесу і правильного використання особливостей формуємих покриттів. При цьому недостатньо знань цих особливостей в загальному викладі, оскільки застосування напиленого покриття, властивості и стан якого визначаються складними переплетіннями багатьох факторів, вимагає індивідуального підходу в кожному випадку окремо [6].

### 1.3 Переваги детонаційного методу нанесення покриттів

Імпульсні методи характеризуються великими енергетичними можливостями, простотою та економічністю. Технологічні засоби імпульсної дії мають високу питому потужність, відрізняються простотою перетворення енергії вибуху в корисну роботу. Детонаційні покриття успішно застосовуються в машинобудуванні, авіаційній промисловості. Цей метод має ряд наступних переваг:

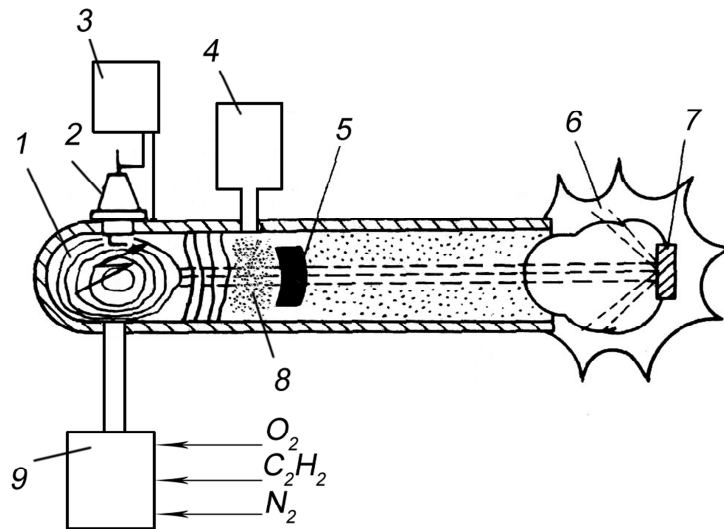
- Міцність зчеплення покриттів з виробом досягає 180 – 360 МПа, що на порядок вище ніж у покриттів, виготовлених іншими методами, та дозволяє застосувати їх для зміцнення та відновлення деталей, що працюють в екстремальних умовах при дії великих контактних та ударних напружень;
- Товщина нанесеного шару практично не обмежується і знаходиться в інтервалі 5 – 500 мкм;
- Температура деталей при напиленні залежить від її розмірів і не перевищує 530 К. Через малу тривалість процесу напилення, температурний вплив незначний;
- Незначний термічний вплив на матеріал що напиляють в наслідок малої тривалості циклу дозволяє формувати покриття з рівномірними фізико-механічними властивостями по поверхні та товщині;

- Можливість плавного регулювання параметрів процесу у широких діапазонах дозволяє для кожного матеріалу встановлювати найбільш оптимальні режими напилення;
- Застосування малодисперсних композиційних порошкових матеріалів для напилення дозволяє формувати покриття з шорсткістю не більше 10-20 мкм, що в деяких випадках не вимагає додаткової механічної обробки.
- Висока енергія продуктів детонації, що прискорює частинки, яка підвищує їх температуру, дозволяє формувати покриття з тугоплавких матеріалів не тільки на металічних деталях з твердістю поверхні 60 HRC та вище, але і на неметалічних матеріалах (скло, кераміка, дерево, картон та інші) [7].

При розповсюдженні детонаційної хвилі в стволі установки швидкість її досягає 3500 м/с, а температура у фронті 3600 К. При цьому, змінюючи витрати детонуючих газів, замість введення, геометричні розміри та кількість часток напиляемого матеріалу можна регулювати швидкість часток від 200 до 1200 м/с, а ступінь прогріву їх довести до температури плавлення і вище.

Детонаційні покриття отримують за допомогою приладів, принципова схема яких приведена на рисунку 1.1. Вона складається з відкритого з одного кінця ствола, блоків подачі напиляемого порошку і газів, блоку ініціації вибуху з запальником. За допомогою блоку 9 ствол заповнюється сумішшю газів, здатних детонувати; із блоку 4 в ствол подається задана навіска напиляемого порошку; блок 3 виробляє ініціюючий імпульс який подається на запальник 2. Поблизу запальника температура підіймається вище критичної ( $T_{кр} = 620 \text{ K}$ ), наприклад, виникає іскра. Запальник підпалює суміш газів, зазвичай у закритого кінця ствола. По суміші газів розповсюджується полум'я з зростаючою швидкістю. Пройшовши деяку відстань, горіння переходить в детонацію, тобто з цього моменту по трубі розповсюджується детонаційна хвиля зі швидкістю, незмінною для даної геометрії ствола в

складі газу. Детонаційна хвиля уявляє комплекс ударної хвилі і зони хімічної реакції.



1 – теплові хвилі (місце запалення); 2 – запальник; 3 – блок ініціювання вибуху; 4 – блок подачі напильного порошку; 5 – детонаційна хвиля; 6 – полум'я на виході зі ствола; 7 – напильна деталь; 8 – сгорілий газ з зваженими в ньому частинками напильного порошку під високим тиском; 9 – блок подачі газів.

Рисунок 1.1 – Блок-схема нанесення детонаційних покриттів

В ударній хвилі газ стискується до тиску у декілька десятків атмосфер. При цьому температура підвищується до декількох тисяч градусів Цельсія і стає значно більше критичної температури за якою газова суміш вступає в реакцію.

За зоною хімічної реакції знаходяться продукти детонації, що мають високий тиск та температуру. Вони йдуть за детонаційною хвилею зі швидкістю меншою за швидкість детонаційної хвилі  $D$  на швидкість звуку  $C$ .

Після досягнення детонаційною хвилею відкритого кінця ствола детонаційна хвиля руйнується, так як може переміщуватись лише по суміші газів, що здатна детонувати. Затухаюча ударна хвиля може переміщуватись за межами ствола, але на відстані більше 100 мм її амплітуда близька до нуля.

Продукти детонації починають виходити зі ствола у вигляді надзвукового струменю: температура та тиск продуктів детонації у стволі зменшується; вихід відбувається до тих пір доки тиск продуктів на виході зі ствола не зрівняється з атмосферою, після чого оточуюче повітря засмоктується в ствол спочатку поблизу стінок, а потім по всьому перерізу і заповнює більшу його частину. Так формується потік що складається із продуктів детонації і частинок що напилуються.

В сучасний час метод детонаційного напилення успішно використовують для зміцнення і відновлення антивібраційних лопаток 1 ступені компресору двигунів НК-22, ДЗО, стаканів робочих форсунок камер згорання та інших. В той же час незважаючи на переваги в властивостях нанесених покриттів, впровадження детонаційного методу просувається дуже повільно. Причиною тому є:

- Високий рівень шуму (120-140 дБ), що потребує будування окремого боксу;
- Відсутність єдиних технологічних рекомендацій по вибору режимів напилення різноманітних порошкових матеріалів[8].

## 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Умови роботи лопатки вентилятора виготовленого із титанового сплаву ВТЗ-1

Лопатка вентилятора сама високонавантажена і відповідальна деталь авіаційного двигуна.

Лопатка повинна володіти:

- високими аеродинамічними якостями її профільної частини: малим лобовим опором, великою підйомною силою, можливістю працювати без зриву в широкому діапазоні кутів атаки;
- високою втомної і механічною міцністю, ресурсом і надійністю, так як на неї при експлуатації впливають значні знакозмінні і циклічні навантаження, а діючі відцентрові і газові сили викликають велику напругу розтягування, кручення і вигину;
- мінімальними відхиленнями геометричних форм і розмірів профілю пера від розрахункових, так як з їх збільшенням погіршується газодинамічна стійкість двигуна, зростають аеродинамічні втрати, що призводять до зменшення ККД компресора, втрати потужності, зростання питомих витрат і, в кінцевому підсумку, до зниження економічності двигуна;
- мінімальною масою і достатньою технологічністю, що допускає масове виробництво.

Особливістю конструкції великогабаритних лопаток є наявність на поверхні пера антивібраційних полиць, що мають аеродинамічний профіль. Антивібраційні полки в експлуатації піддаються зношуванню через фріттинг-корозію [9].

Лопатки вентилятора виготовлені з деформівного титанового сплаву ВТЗ-1. Цей сплав відноситься до групи двофазних ( $\alpha+\beta$ ) сплавів мартенситного класу. Хімічний склад даного сплаву складається з: 5,5-6,5% Al; 2-3% Mo; 0,2-0,4% Si; 0,2-0,7% Fe; 0,8-0,9% Cr; решту складає Ti.

При температурі нижче 882 °С титан має гексагональну щільнопаковану кристалічну ґратку.

Легування титану хімічними елементами, які являються  $\beta$ -стабілізаторами, дозволяє досягнути існування обох  $\alpha$  та  $\beta$ -фаз при кімнатній температурі.

Характерно, що різниця питомих об'ємів кристалічних ґраток  $\alpha$  та  $\beta$ -модифікацій титанових сплавів відносно невелика – приблизно 0,17%. При цьому, збільшення частинок  $\alpha$ -фази приводить до підвищення пластичності, ударної в'язкості, довготривалої міцності та втомному опору.

Нижче в таблиці 2.1 наведено механічні властивості сплаву ВТЗ-1 [10].

Таблиця 2.1 – Механічні властивості титанового сплаву ВТЗ-1

| Сплав | Поріг текучості $\sigma_{0,2}$ , МПа | Поріг міцності $\sigma_B$ , МПа | Відносне видовження, $\delta$ , % | Відносне звуження, $\psi$ , % | Ударна в'язкість, КСУ, Дж/см <sup>2</sup> |
|-------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| ВТЗ-1 | 900                                  | 1140                            | 10                                | 25                            | 30                                        |

## 2.2 Характеристика та хімічний склад порошків

Для наплення детонаційним методом деталей газотурбінних двигунів в основному застосовують порошки ВКНА, ПКХН-15, ПХ20Н80 та інші [11].

Хімічний склад порошків та їх експлуатаційні характеристики наведені в таблицях 2.2, та 2.3.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад порошків для наплення детонаційним методом

| Матеріал | Масова частка елементів, % |        |         |     |      |      |     |                                |
|----------|----------------------------|--------|---------|-----|------|------|-----|--------------------------------|
|          | Al                         | Ni     | Cr      | Ti  | Co   | Mo   | W   | Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> |
| ВКНА     | 26-28                      | основа | 2,0-2,7 | 0,5 | 1,32 | 0,35 | 1,2 | -                              |
| ПКХН-15  | -                          | 15     | -       | -   | -    | -    | -   | основа                         |
| ПХ20Н80  | -                          | основа | 20      | -   | -    | -    | -   | -                              |

Як видно з таблиці 2.2 основою ПХ20Н80 та ВКНА порошків є нікель. Для порошку ПХ20Н80 характерна наявність 20% хрому. У порошку ВКНА

більший вміст алюмінію, а також наявні елементи хрому, титану, кобальту, молібдену та вольфраму в невеликих кількостях. Порошки типу ПКХН-15 в своїй основі представлені карбідом хрому  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  та вмістом нікелю у 15%.

Таблиця 2.3 – Характеристика порошків для детонаційного напилення

| Назва порошку      | Температура плавлення, °C | Температура кипіння, °C | Температура експлуатації, °C | Характеристики                                                                                                            |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПКХН-15<br>ПКХН-30 | 1895                      | 3800                    | до 900                       | Висока зносостійкість при підвищених температурах і в корозійному середовищі у ПКХН-15 краща оброблюваність ніж у ПКХН-30 |
| ПХ20Н80            | 1895                      | 2900                    | 980                          | Висока зносостійкість при підвищених температурах і в корозійному середовищі                                              |
| ВКНА               | 2110                      | 3000                    | 2000                         | Висока корозійна стійкість, жаростійкість і зносостійкість                                                                |

Усі порошки характеризуються високою зносостійкістю та корозійною стійкістю при підвищених температурах. Порошок ВКНА відрізняється високою зносостійкістю – температура експлуатації досягає 2000 °C. Порошок ПКХН-15 перевірений на плоских поверхнях деталей ГТД, пошкоджених в процесі зносу при товщинах до 0,35 мм.

Ресурс деталей після напилення порошком ПКХН-15 збільшився в 2 рази при температурі 750-800 °C [12].

### 2.3 Методика виявлення мікроструктури і визначення фазового складу покриттів

Вивчення впливу зміцнювальних обробок на структурні зміни в поверхневому шарі лопаток було проведено за допомогою рентгеноструктурного аналізу в мідному випромінюванні на дифрактометрі типу ДРОН. Дифракційні промені реєструються за допомогою сцинтиляційного лічильника по чергово при синхронному пересуванні лічильника і зразка навколо осі гоніометра. Лічильник реєструє вузький пучок променів у кінцевому малому кутовому інтервалі усього дифракційного конуса, тобто є точковим детектором. Крізь центр щілини, що співпадає з віссю гоніометра, проходить поверхня плоского зразка. При повороті лічильника на кут  $2\theta$  зразок синхронно повертається на кут  $\theta$  і при цьому його поверхня увесь час має дотик до кола фокусування зі змінним радіусом. Дифраговані промені неперервно попадають у лічильник, завдяки чому при використанні спеціальної реєструючої системи на моніторі комп'ютера або діаграмній стрічці самописця записується дифрактограма у вигляді розподілу інтенсивностей рентгенівських променів в залежності від кута повороту зразка. Монохроматизація дифракційного відбиття здійснювалася за допомогою кварцового монохроматора, встановленого перед сцинтиляційним лічильником, що забезпечувало як фільтрацію  $\beta$ -випромінювання, так і суттєве зменшення фону від зразка.

Отримання дифрактограм і обробка експериментальних даних проводилась на комп'ютері, сполученим з дифрактометрів за допомогою спеціального пристрою. Дифрактограми знімалися в повному діапазоні кутів відображення в інтервалі  $30 \dots 154^\circ$  ( $2\theta$ ). Зйомка проводилася від поверхні вхідної крайки і спинки в плоских ділянках пера лопатки.

Фазовий склад структури поверхневого шару проводили за стандартною методикою шляхом порівняння розрахункових експериментальних значень міжплощинних відстаней  $d_{\text{HKL}}$ , які були

розраховані за формулою Вульфа-Брега (2.1), з довідковими даними для певних фаз [13].

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

де  $d$  – міжплощинна відстань;

$\theta$  – кут відбиття;

$n$  – порядок дифракційного максимуму;

$\lambda$  – довжина хвилі.

Вивчення мікроструктури проводили на оптичному мікроскопі МІМ-8. Мікроструктуру сплавів вивчали на поздовжніх перетинах лопаток з метою виявлення структури покриттів і самого сплаву ВТЗ-1 після різних варіантів зміцнювальної обробки. Для виявлення пор і щільності зчеплення покриття з поверхнею лопатки мікроструктуру одержували на шліфах після полірування без травлення. Структура покриття і матриці сплаву ВТЗ-1 виявлялася після травлення в травниках (20 мл. - HF, 20 мл. - HNO<sub>3</sub>, 60 мл. - H<sub>2</sub>O).

#### 2.4 Методика виміру мікротвердості і визначення пористості покриттів

Мікротвердість визначалася відповідно до ГОСТ-у 9450-76. В якості індентора при вимірюванні мікротвердості найчастіше, як і в разі визначення твердості по Вікерсу, використовують правильну чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136 °. Ця піраміда плавно вдавлюють в зразок при навантаженнях 0,05-5 Н. Число мікротвердості  $H_{\mu}$ , МПа, визначається за формулою  $H_{\mu} = 1,854 \cdot P / d^2$ , де  $P$  - навантаження, Н;  $d$  - діагональ відбитка, зазвичай 7-50 мкм;  $d^2 / 1,854$  - площа бічної поверхні отриманого пірамідального відбитка.

Визначення пористості проводили відповідно ГОСТ-у 1778-70. Згідно методики оцінку пористості проводять під мікроскопом на нетравлених шліфах. Шліф розкреслюють паралельними лініями в довільному напрямку таким чином, щоб обрана довжина для підрахунку була не менше 3-х см, та охоплювала перехідні зони, та центральні зони шліфа. Приклад нанесення ліній зазначено на рисунку 2.1.

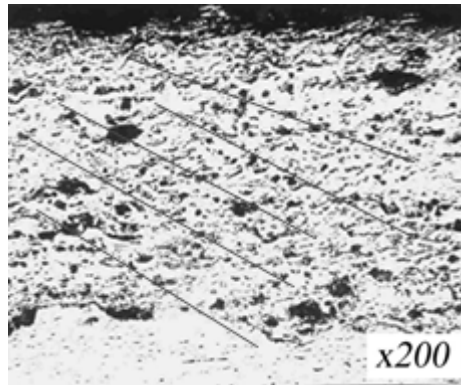


Рисунок 2.1 – Приклад нанесення ліній на зображення

Темні ділянки, що потрапляють на лінію, вимірюють та записують, далі згідно формули розраховують індекс пористості  $I_{\pi}$ :

$$I_{\pi} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{l} 100\% ,$$

Де  $l_i$  – довжина пори що потрапила на  $i$ -ту лінію;

$l$  – довжина лінії.

## 2.5 Сутність процесу ультразвукового зміцнення

Процес ультразвукового зміцнення деталей складної геометричної форми заснований на використанні кінетичної енергії робочого тіла за допомогою ультразвукового поля, що виникає в замкнутому просторі при виникненні в ньому пружних механічних коливань ультразвукової частоти. Ультразвукове зміцнення кульками лопаток компресорів в серійному виробництві проводять в спеціальних концентраторах.

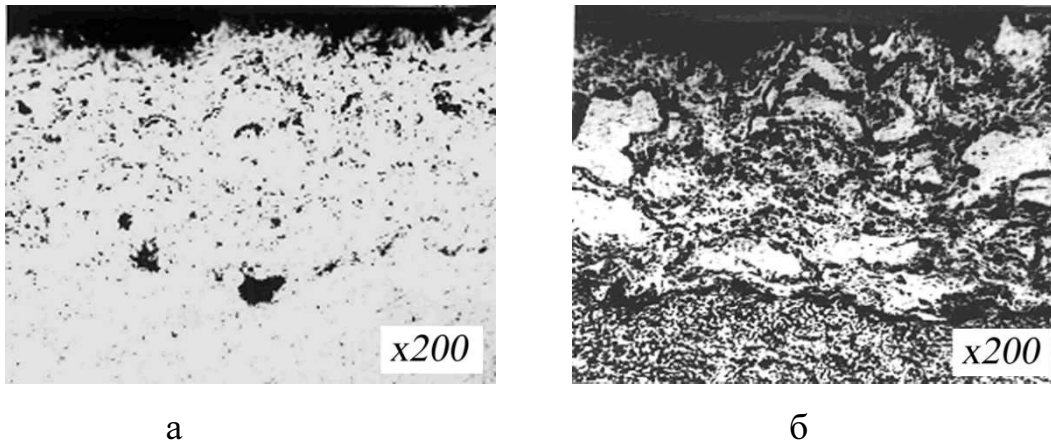
В якості робочих тіл використовували сталеві кульки зі сталі ШХ15 діаметром 1,3 ... 1,6 мм. З метою виключення явища сухого тертя при ударах кульок об оброблювану поверхню деталі застосовується змочувальна рідина - вода з антикорозійними добавками. Обсяг рідини для змочення, що заливається в робочий об'єм, знаходиться в межах 4 ... 10 мл.

Маса кульок в концентраторі становить 200 ... 400 г, інтенсивність їх переміщення визначається силою струму  $I$ , яка знаходиться в межах 25 ... 60 мА [14].

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

#### 3.1 Дослідження мікроструктури поверхневих шарів лопаток із покриттями

Розподіл пор в покритті аналізували на полірованих зразках. Мікроструктуру вивчали на зразках після травлення (рис. 3.1; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6).



а – полірований зразок; б – після травлення

Рисунок 3.1 – Мікроструктура покриття із порошку ПХ20Н80 (УЗЗ;  $\tau = 10$  хв.)

В шарі покриття з порошку ніхрома на полірованому зразку після УЗЗ виявлені пори (рис. 3.1 а), в покритті ПКХН-15 їх менше і вони дрібніші (рис. 3.3 а, 3.4а), в покритті з порошку ВКНА (рис. 3.5 а, 3.6 а) пориспостерігаються в основному лише в зоні контакту.

Із аналізу діаграми стану Ni-Cr (рис. 3.2) робимо висновок, що хімічні сполуки в цій системі не утворюються. Відповідно до хімічного складу порошку ПХ20Н80 маємо припустити, що це частинки  $\alpha$ -твердого розчину на основі Ni, розплавлені тільки з поверхні в процесі нанесення покриття. Темні ділянки уявляють собою дисперсну суміш розплавлених та нерозплавлених таких частинок. В цих областях структурно виявлені також дрібні округлі частинки. Зона контакту більш прямолінійна порівняно з іншими покриттями, можливо, це пов'язано з тим, що покриття

ПХ20Н80 є однофазним і, внаслідок цього сама поверхня лопатки менше піддається деформації [15].

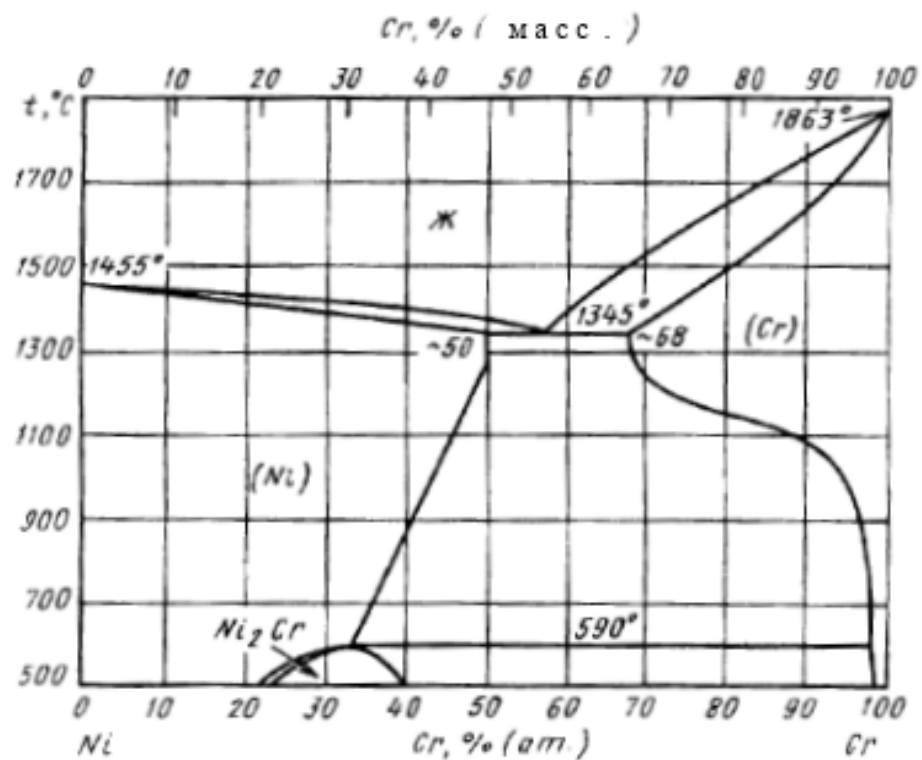
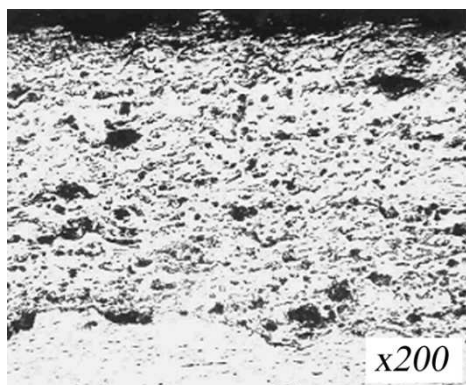
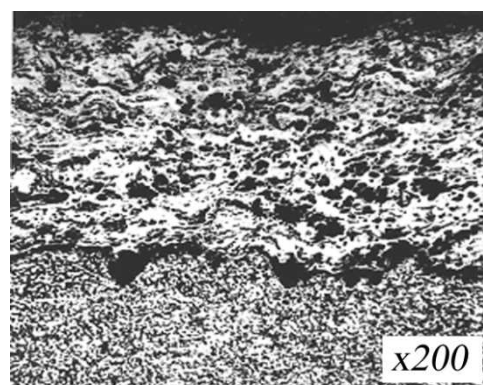


Рисунок 3.2 – Діаграма стану Ni-Cr



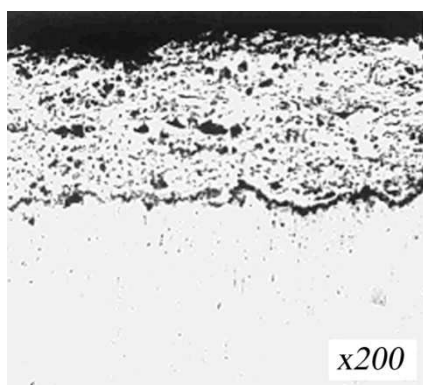
а



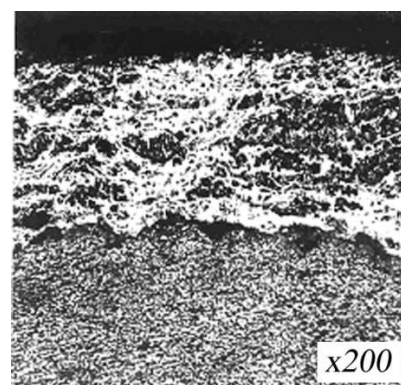
б

а – полірований зразок; б – після травлення

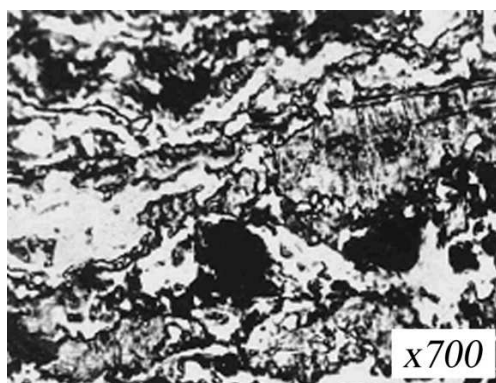
Рисунок 3.3 – Мікроструктура покриття з порошку ПКХН-15



а



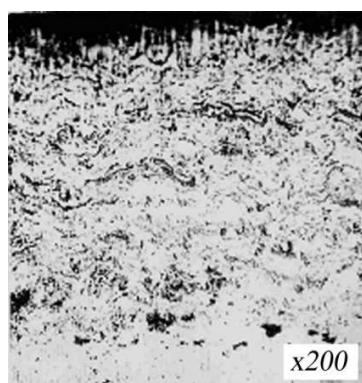
б



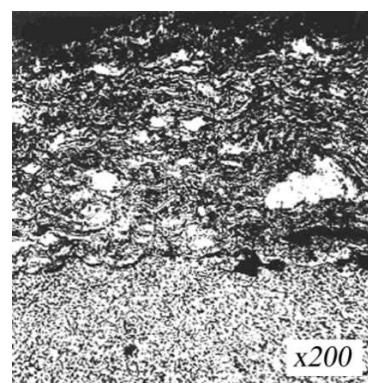
в

а – полірований зразок; б, в – після травлення

Рисунок 3.4 – Мікроструктура покриття із порошку ПКХН-15 (УЗЗ;  $\tau = 20$  хв.)



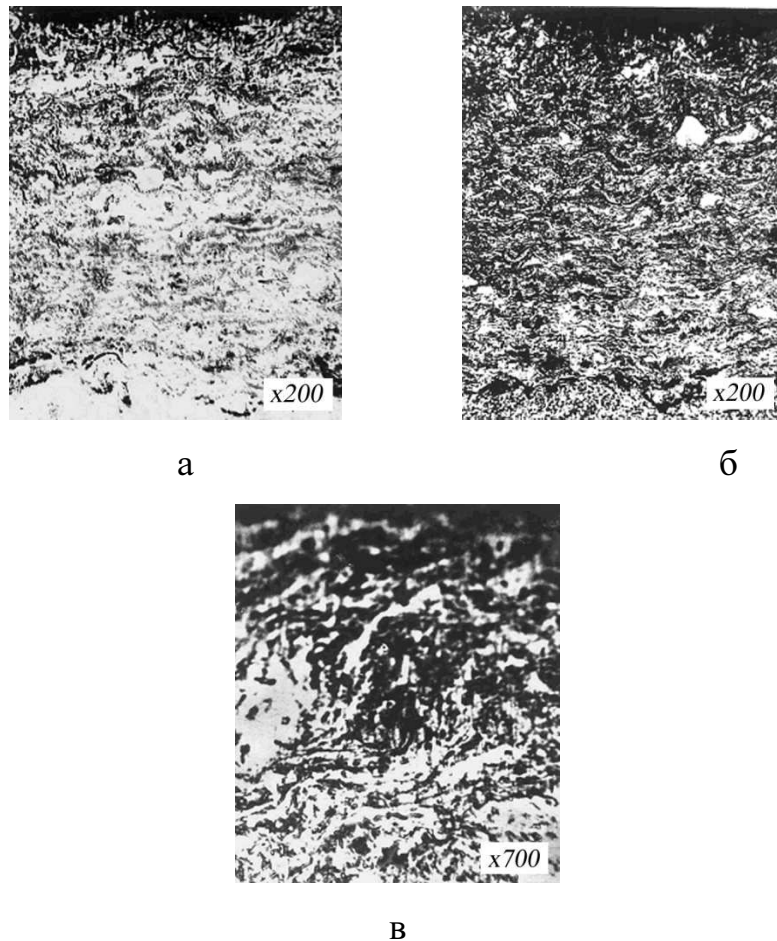
а



б

а – полірований зразок; б – після травлення

Рисунок 3.5 – Мікроструктура покриття із порошку ВКНА



а – полірований зразок; б, в – після травлення

Рисунок 3.6 – Мікроструктура покриття із порошку ВКНА (УЗЗ;  $\tau = 20$  хв.)

У покритті з порошку ПКХН-15 світлі ділянки дрібніші і вони розділені областями темного кольору, в яких при більшому збільшенні чітко видно частинки карбіду хрому  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  округлої форми (рис. 3.4 в), що свідчить про те, що вони не розплавлялися при формуванні покриття. Фаза  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  була виявлена рентгеноструктурним методом.

Контакт покриття з порошку ВКНА (рис. 3.5, 3.6) і в меншій мірі з ПКХН-15 (рис. 3.3, 3.4) з поверхнею лопатки має хвилеподібну форму, що свідчить про більш значну деформацію підкладки при нанесенні такого виду покриття. Ділянки темного кольору в структурі покриття з ВКНА при великому збільшенні (рис. 3.6, в) характеризуються наявністю дисперсних фаз, що швидше за все, є евтектичними, що складається із фаз:  $\alpha\text{-(Ni)}$  і  $\text{Ni}_3\text{Al}$ , про що свідчить аналіз діаграми стану Ni-Al (рис. 3.7). Присутні також

частинки округлої і більш видовженої форми, світлі частинки  $\alpha$ -твердого розчину на основі Ni зазвичай дрібні в первинних шарах покриття, а більші зустрічаються тільки в поверхневому шарі покриття (рис.3.6, б).

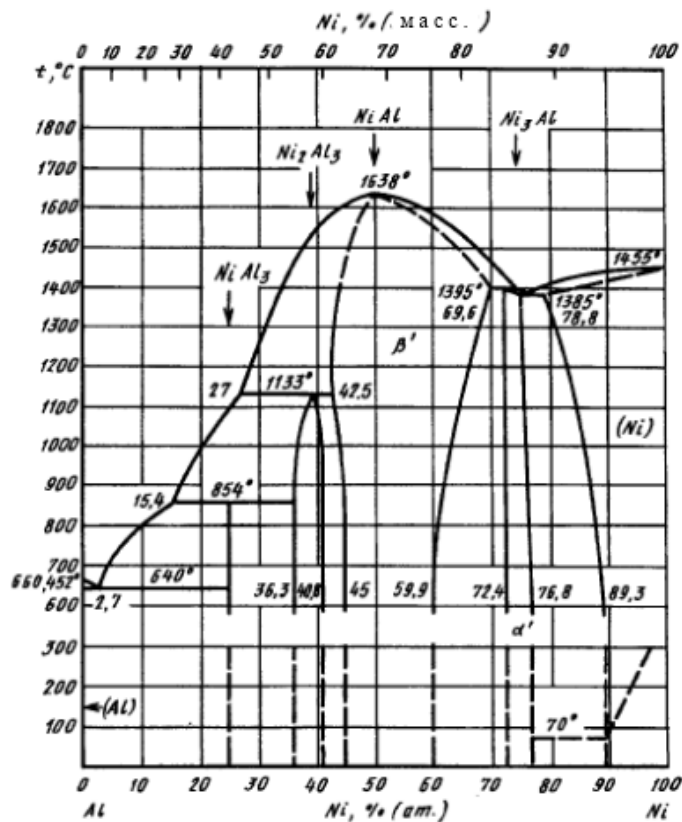


Рисунок 3.7 – Діаграма стану Ni-Al

3.2 Рентгеноструктурні дослідження фазового складу вихідних порошків та покриттів

Фазовий склад покриття визначали за допомогою рентгеноструктурного методу, використовуючи мідне монохроматичне випромінювання. Дифрактограми (рис. 3.8-3.13) отримані на дифрактометрі ДРОН-1, із яких за допомогою рівняння Вульфа-Брега знайдені міжплощинні відстані  $d_{\text{HKL}}$ . Ідентифікація фаз здійснена порівнянням міжплощинних відстаней  $d_{\text{HKL}}$  та інтенсивності ліній експериментальних значень з довідковими значеннями. Отримані результати розрахунків наведені в табл. 3.4-3.11.

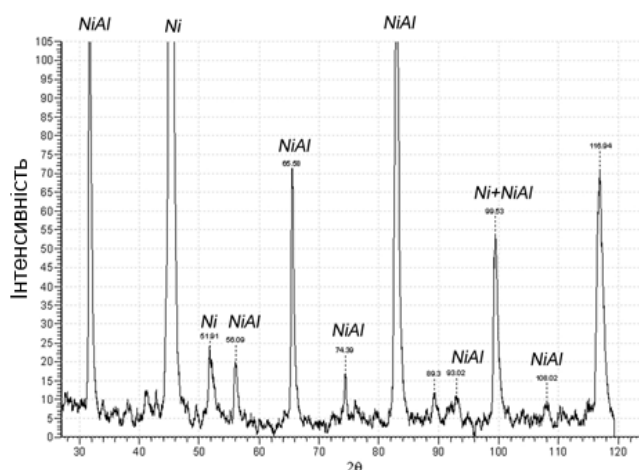


Рисунок 3.8 – Дифрактограма вихідного порошку ВКНА

Таблиця 3.4 – Міжплощинні відстані  $d_{HKL}$ , нм та інтенсивності  $I$  для експериментальних і довідкових даних виявлених фаз вихідного порошку ВКНА

| № п/п | Експериментальні дані |                      |     | Довідкові дані для фаз |     |                      |        |
|-------|-----------------------|----------------------|-----|------------------------|-----|----------------------|--------|
|       | $2\theta$             | $d_{HKL}, \text{нм}$ | $I$ | Ni                     |     | NiAl                 |        |
|       |                       |                      |     | $d_{HKL}, \text{нм}$   | $I$ | $d_{HKL}, \text{нм}$ | $I$    |
| 1     | 31,73                 | 0,282                | 126 |                        |     |                      |        |
| 2     | 45,32                 | 0,200                | 125 | 0,204                  | 100 |                      |        |
| 3     | 51,91                 | 0,176                | 25  | 0,177                  | 50  |                      |        |
| 4     | 56,09                 | 0,164                | 24  |                        |     | 0,166                | сл     |
| 5     | 65,58                 | 0,142                | 71  |                        |     | 0,145                | О.С.   |
| 6     | 74,39                 | 0,128                | 21  | 0,125                  | 40  | 0,129                | сл     |
| 7     | 83,00                 | 0,116                | 126 |                        |     | 0,118                | ср     |
| 8     | 89,30                 | 0,110                | 15  |                        |     |                      |        |
| 9     | 93,02                 | 0,106                | 15  | 0,107                  | 60  |                      |        |
| 10    | 99,53                 | 0,101                | 58  | 0,102                  | 10  | 0,102                | сл     |
| 11    | 108,02                | 0,095                | 14  |                        |     | 0,096                | о. сл. |
| 12    | 116,94                | 0,090                | 76  | 0,088                  | 2   | 0,091                | сл     |

Основні компоненти у вихідному порошку ВКНА є нікель і алюміній. На дифрактограмі (рис. 3.8, табл. 3.4) присутні фази: Ni та NiAl, що підтверджується аналізом діаграми стану Ni-Al.

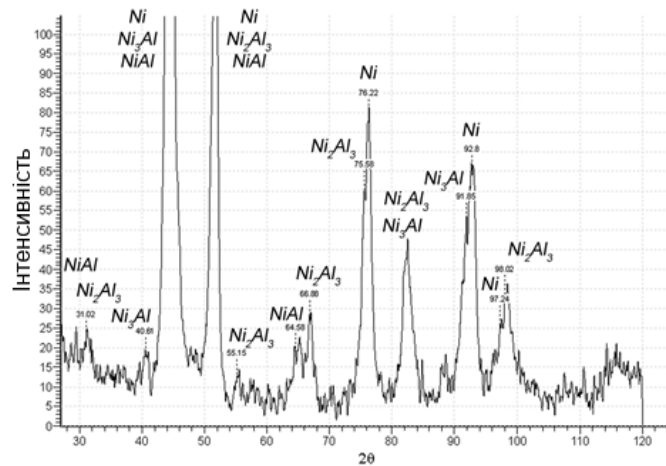


Рисунок 3.9 – Дифрактограма покриття із порошку ВКНА

Таблиця 3.5 – Міжплощинні відстані  $d_{HKL}$ , нм та інтенсивності  $I$  для експериментальних і довідкових даних виявлених фаз у покритті із порошку ВКНА

| №<br>п/п | Експериментальні дані |                   |     | Довідкові дані для фаз |         |                   |      |                    |     |                                 |         |
|----------|-----------------------|-------------------|-----|------------------------|---------|-------------------|------|--------------------|-----|---------------------------------|---------|
|          | $2\theta$             | $d_{HKL}$ ,<br>нм | $I$ | Ni                     |         | NiAl              |      | Ni <sub>3</sub> Al |     | Ni <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> |         |
|          |                       |                   |     | $d_{HKL}$ ,<br>нм      | $I$ , % | $d_{HKL}$ ,<br>нм | $I$  | $d_{HKL}$ ,<br>нм  | $I$ | $d_{HKL}$ ,<br>нм               | $I$ , % |
| 1        | 31,02                 | 0,288             | 22  |                        |         | 0,288             | с    |                    |     | 0,281                           | 20      |
| 2        | 40,61                 | 0,222             | 18  |                        |         |                   |      |                    |     |                                 |         |
| 3        | 44,42                 | 0,204             | 108 | 0,204                  | 100     | 0,204             | ср   | 0,206              | С   | 0,200                           | 100     |
| 4        | 55,15                 | 0,167             | 12  | 0,177                  | 50      | 0,166             | сл   | 0,159              | сл  | 0,167                           | 5       |
| 5        | 64,58                 | 0,144             | 19  |                        |         | 0,145             | О.С. | 0,145              | сл  | 0,143                           | 25      |
| 6        | 66,88                 | 0,140             | 27  |                        |         |                   |      |                    |     |                                 |         |
| 7        | 75,58                 | 0,126             | 60  |                        |         | 0,130             | сл   | 0,126              | ср  |                                 |         |
| 8        | 76,22                 | 0,125             | 78  | 0,125                  | 40      |                   |      | 0,119              | сл  | 0,127                           | 5       |
| 9        | 91,85                 | 0,107             | 52  |                        |         |                   |      | 0,108              | ср  |                                 |         |
| 10       | 92,80                 | 0,107             | 64  | 0,107                  | 60      |                   |      |                    |     |                                 |         |
| 11       | 97,24                 | 0,103             | 26  |                        |         |                   |      |                    |     |                                 |         |
| 12       | 98,02                 | 0,102             | 34  | 0,102                  | 10      | 0,102             | сл   |                    |     | 0,100                           | 15      |

На зразках із нанесеним покриттям ВКНА (рис. 3.9, табл. 3.5) окрім Ni та NiAl виявлені фази Ni<sub>3</sub>Al і Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>, фаза Ni<sub>3</sub>Al в структурі може бути як окремими частинками, так і в евтектиці  $\alpha(\text{Ni}) + \text{Ni}_3\text{Al}$ , що утворюється при

температурі 1385°. Утворення фаз можливе при формуванні покриття за рахунок високих температур в процесі детонації. Таким чином покриття із порошку ВКНА є багатофазним.

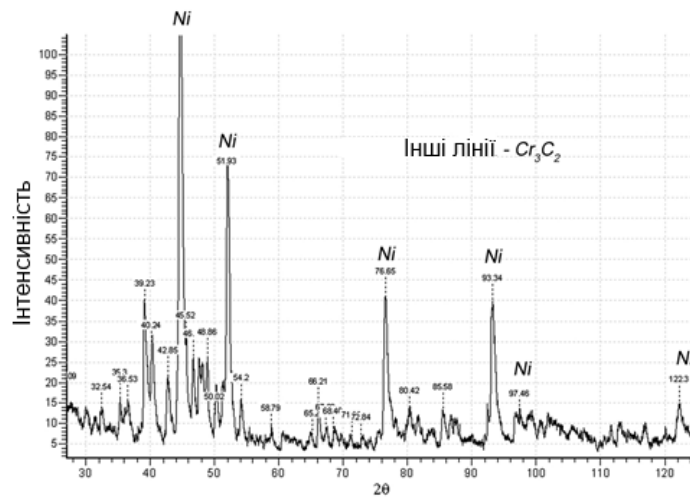


Рисунок 3.10 – Дифрактограма вихідного порошку ПКХН-15

Таблиця 3.6 – Міжплощинні відстані  $d_{HKL}$ , нм та інтенсивності  $I$  для експериментальних і довідкових даних виявлених фаз вихідного порошку ПКХН-15

| № п/п | Експериментальні дані |                |     | Довідкові дані для фаз |         |                                |         |
|-------|-----------------------|----------------|-----|------------------------|---------|--------------------------------|---------|
|       | $2\theta$             | $d_{HKL}$ , нм | $I$ | Ni                     |         | Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> |         |
|       |                       |                |     | $d_{HKL}$ , нм         | $I$ , % | $d_{HKL}$ , нм                 | $I$     |
| 1     | 2                     | 3              | 4   | 5                      | 6       | 7                              | 8       |
| 1     | 32,54                 | 0,275          | 13  |                        |         | 0,274                          | ср.     |
| 2     | 35,30                 | 0,254          | 16  |                        |         | 0,254                          | с.      |
| 3     | 36,53                 | 0,246          | 14  |                        |         | 0,248                          | ср.     |
| 4     | 39,23                 | 0,230          | 38  |                        |         | 0,230                          | с.      |
| 5     | 40,24                 | 0,224          | 28  |                        |         | 0,223                          | ср.     |
| 6     | 42,85                 | 0,211          | 21  |                        |         | 0,211                          | ср.     |
| 7     | 44,71                 | 0,203          | 126 | 0,204                  | 100     |                                |         |
| 8     | 45,52                 | 0,199          | 30  |                        |         | 0,199                          | сл.     |
| 9     | 46,74                 | 0,194          | 25  |                        |         | 0,194                          | ср.     |
| 10    | 48,86                 | 0,186          | 26  |                        |         | 0,187                          | ср. сл. |
| 11    | 50,02                 | 0,182          | 10  |                        |         | 0,182                          | ср. сл. |
| 12    | 51,93                 | 0,176          | 68  | 0,177                  | 50      | 0,175                          | сл.     |

| Продовження таблиці 3.6 |        |       |    |       |    |       |         |
|-------------------------|--------|-------|----|-------|----|-------|---------|
| 1                       | 2      | 3     | 4  | 5     | 6  | 7     | 8       |
| 13                      | 54,20  | 0,169 | 15 |       |    | 0,169 | ср. сл. |
| 14                      | 58,79  | 0,157 | 7  |       |    | 0,157 | сл.     |
| 15                      | 65,20  | 0,143 | 6  |       |    | 0,143 | сл.     |
| 16                      | 66,21  | 0,141 | 14 |       |    |       |         |
| 17                      | 67,33  | 0,139 | 8  |       |    |       |         |
| 18                      | 68,46  | 0,137 | 7  |       |    | 0,137 | ср.     |
| 19                      | 71,38  | 0,132 | 6  |       |    | 0,132 | сл.     |
| 20                      | 72,84  | 0,130 | 5  |       |    | 0,130 | ср. сл. |
| 21                      | 76,65  | 0,124 | 41 | 0,125 | 40 | 0,128 | ср. сл. |
| 22                      | 80,42  | 0,119 | 12 |       |    |       |         |
| 23                      | 85,58  | 0,114 | 13 |       |    |       |         |
| 24                      | 93,34  | 0,106 | 39 | 0,107 | 60 |       |         |
| 25                      | 97,46  | 0,103 | 11 | 0,102 | 10 |       |         |
| 26                      | 122,30 | 0,088 | 14 | 0,088 | 2  |       |         |

У вихідному порошку ПКХН-15 присутні лінії карбіду  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  і  $\text{Ni}$  яким плакують частинки карбідів (рис. 3.10, табл. 3.6).

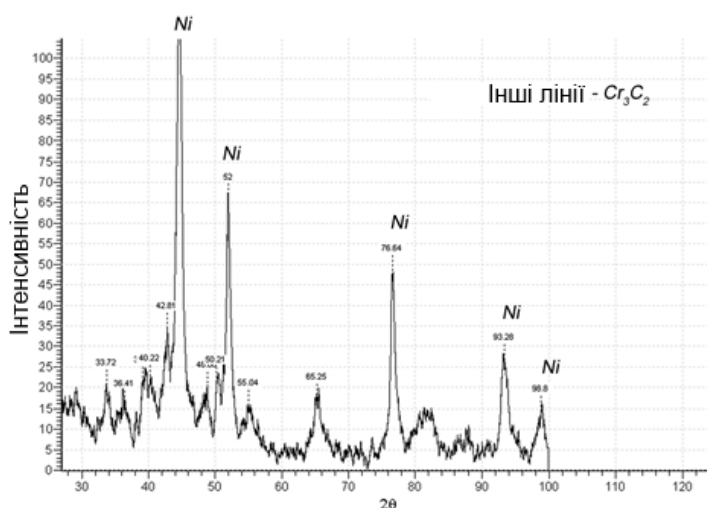


Рисунок 3.11 – Дифрактограма покриття із порошку ПКХН-15

Таблиця 3.7 – Міжплощинні відстані  $d_{HKL}$ , нм та інтенсивності  $I$  для експериментальних і довідкових даних виявлених фаз у покритті із порошку ПКХН-15

| № п/п | Експериментальні дані |                |     | Довідкові дані для фаз |         |                                |         |
|-------|-----------------------|----------------|-----|------------------------|---------|--------------------------------|---------|
|       | $2\theta$             | $d_{HKL}$ , нм | $I$ | Ni                     |         | Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> |         |
|       |                       |                |     | $d_{HKL}$ , нм         | $I$ , % | $d_{HKL}$ , нм                 | $I$     |
| 1     | 33,72                 | 0,266          | 19  |                        |         | 0,254                          | с.      |
| 2     | 36,41                 | 0,247          | 14  |                        |         | 0,246                          | сл.     |
| 3     | 39,10                 | 0,230          | 20  |                        |         | 0,230                          | с.      |
| 4     | 40,22                 | 0,224          | 21  |                        |         | 0,223                          | ср.     |
| 5     | 42,81                 | 0,211          | 33  |                        |         | 0,211                          | ср.     |
| 6     | 44,63                 | 0,203          | 117 | 0,204                  | 100     | 0,199                          | сл.     |
| 7     | 48,86                 | 0,186          | 19  |                        |         | 0,186                          | ср.     |
| 8     | 50,21                 | 0,182          | 20  |                        |         | 0,182                          | ср. сл. |
| 9     | 52,00                 | 0,176          | 65  | 0,177                  | 50      | 0,175                          | ср. сл. |
| 10    | 55,04                 | 0,167          | 15  |                        |         | 0,170                          | сл.     |
| 11    | 65,25                 | 0,143          | 16  |                        |         | 0,143                          | ср. сл. |
| 12    | 76,64                 | 0,124          | 47  | 0,125                  | 40      | 0,128                          | ср. сл. |
| 13    | 93,28                 | 0,106          | 26  | 0,107                  | 60      |                                |         |
| 14    | 98,80                 | 0,102          | 13  | 0,102                  | 10      |                                |         |
| 15    | 114,63                | 0,092          | 9   |                        |         |                                |         |
| 16    | 114,97                | 0,091          | 9   | 0,088                  | 2       |                                |         |

У покритті із порошку ПКХН-15 фазовий склад не змінився (рис. 3.11, табл. 3.7) лінії карбіду хрому мають меншу інтенсивність, що можливо пов'язано із його меншим вмістом у покритті після детонаційного напилення.

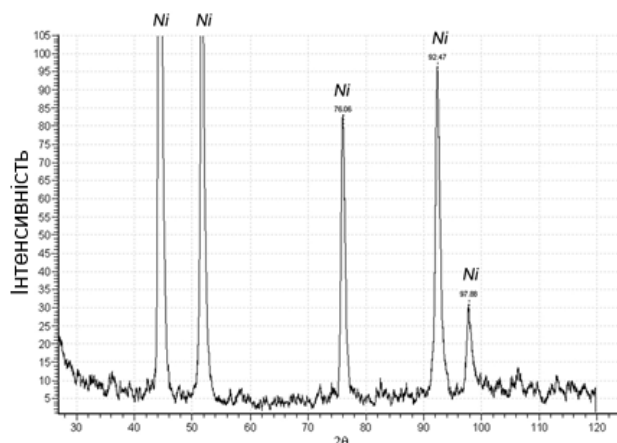


Рисунок 3.12 – Дифрактограма вихідного порошку ПКХ20Н80

Таблиця 3.8 – Міжплощинні відстані  $d_{HKL}$ , нм та інтенсивності  $I$  для експериментальних і довідкових даних виявлених фаз висхідного порошку ПХ20Н80

| № п/п | Експериментальні дані |                |         | Довідкові дані для фаз |         |
|-------|-----------------------|----------------|---------|------------------------|---------|
|       | $2\theta$             | $d_{HKL}$ , нм | $I$ , % | Ni                     |         |
|       |                       |                |         | $d_{HKL}$ , нм         | $I$ , % |
| 1     | 44,49                 | 0,204          | 124     | 0,204                  | 100     |
| 2     | 51,74                 | 0,177          | 124     | 0,177                  | 50      |
| 3     | 76,06                 | 0,125          | 78      | 0,125                  | 40      |
| 4     | 92,47                 | 0,107          | 93      | 0,107                  | 60      |
| 5     | 97,88                 | 0,102          | 27      | 0,102                  | 10      |

Вихідний порошок ПХ20Н80 (рис. 3.12, табл. 3.8) є однофазним, основною фазою є  $\alpha$ -твердий розчин на основі Ni, в ґратці якого значно розчиняються атоми хрому.

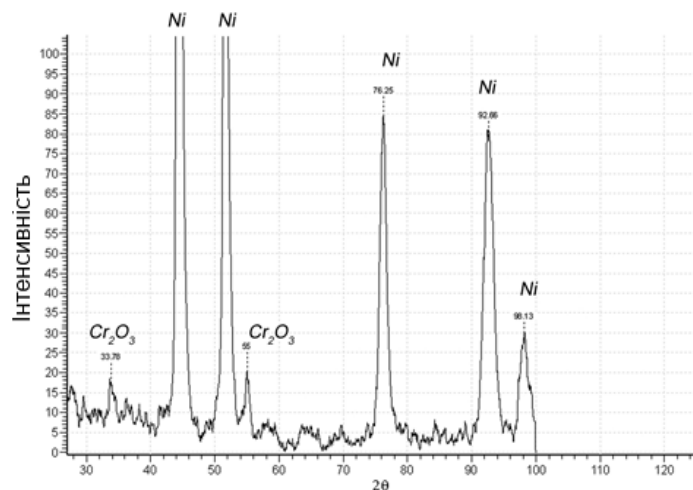


Рисунок 3.13 – Дифрактограма покриття із порошку ПХ20Н80

В покритті (рис. 3.13, табл. 3.9) лінії нікелю мають значну інтенсивність. Присутні також слабкі лінії карбиду  $Cr_2O_3$ , утворення цієї фази можливо при частковому розплавленні частинок порошку в газовому потоці.

Таблиця 3.9 – Міжплощинні відстані  $d_{HKL}$ , нм та інтенсивності  $I$  (%) для експериментальних і довідкових даних виявлених фаз у покритті із порошку ПХ20Н80

| № п/п | Експериментальні дані |                |     | Довідкові дані для фаз |         |                                |         |
|-------|-----------------------|----------------|-----|------------------------|---------|--------------------------------|---------|
|       | $2\theta$             | $d_{HKL}$ , нм | $I$ | Ni                     |         | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |         |
|       |                       |                |     | $d_{HKL}$ , нм         | $I$ , % | $d_{HKL}$ , нм                 | $I$ , % |
| 1     | 33,78                 | 0,265          | 17  |                        |         | 0,267                          | 70      |
| 2     | 44,50                 | 0,204          | 117 | 0,204                  | 100     | 0,203                          | 4       |
| 3     | 51,71                 | 0,177          | 117 | 0,177                  | 50      | 0,181                          | 45      |
| 4     | 55,00                 | 0,167          | 20  |                        |         | 0,167                          | 100     |
| 5     | 76,25                 | 0,125          | 84  | 0,125                  | 40      | 0,124                          | 6       |
| 6     | 92,66                 | 0,107          | 78  | 0,107                  | 60      | 0,109                          | 12      |
| 7     | 98,13                 | 0,102          | 28  | 0,102                  | 10      | 0,103                          | 2       |

Таким чином виходячи з отриманих даних в покритті з порошку ВКНА ми можемо спостерігати утворення фаз: Ni, NiAl, Ni<sub>3</sub>Al, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>. В покритті з порошку ПКХН-15 спостерігаються наступні фази: Ni, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Нових фаз у покритті ПКХН-15 порівняно із вихідним порошком не виявлено. Виявлені фази заносимо до таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Фази виявлені у вихідних порошках і відповідних покриттях

| Вид покриття | Фазовий склад                      |                                                               |
|--------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|              | Порошок                            | Покриття                                                      |
| ВКНА         | Ni, NiAl                           | Ni, NiAl, Ni <sub>3</sub> Al, Ni <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> |
| ПКХН-15      | Ni, Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> | Ni, Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>                            |
| ПХ20Н80      | Ni                                 | Ni, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                            |

### 3.3 Визначення пористості покриттів

Згідно до методики, розраховуємо пористість покриття з порошків ВКНА, ПКХН-15 та ПХ20Н80. Результати розрахунків відповідно до методики приведені в таблиці 3.11, 3.12 та 3.13.

Для розрахунку пористості на зображення мікроструктури покриттів після полірування наносились паралельні лінії, зображення мікроструктур для кожного покриття з нанесеними лініями зображені на рисунках 3.14, 3.15, 3.16.

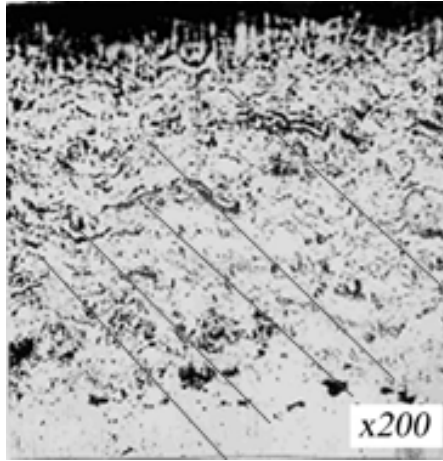


Рисунок 3.14 – Розташування ліній на зображенні мікроструктури покриття  
ВКНА

Таблиця 3.11 – Результати розрахунку пористості покриття із порошку  
ВКНА

| №<br>лінії | Довжина<br>Лінії $l$ ,<br>мм | Довжина відрізків $l_i$ , мм                                                  | Кількість<br>відрізків $z$ | Сумарна<br>довжина<br>відрізків<br>$\sum l_i$ , мм | Індекс пористості $I_n$ , |       |
|------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|-------|
|            |                              |                                                                               |                            |                                                    | $I_{pi}$                  | $I_n$ |
| 1          | 34                           | 0,2; 0,2; 0,5; 0,2; 1; 0,2; 0,2;<br>0,2; 0,2; 0,5; 0,2; 0,2; 0,2;<br>0,5; 0,2 | 15                         | 4,7                                                | 1,38                      | 1,106 |
| 2          | 39                           | 0,2; 0,2; 0,5; 1; 0,5; 0,2; 0,5;<br>0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2                   | 12                         | 4,1                                                | 1,05                      |       |
| 3          | 33                           | 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,5; 0,5;<br>0,2; 0,5; 0,5; 0,2; 0,2; 1,5                 | 12                         | 4,9                                                | 1,48                      |       |
| 4          | 33                           | 0,2; 0,5; 0,2; 0,5; 0,2; 0,5;<br>0,2; 0,2; 0,2;                               | 9                          | 2,7                                                | 0,81                      |       |
| 5          | 32                           | 0,2; 0,2; 0,5; 0,5; 0,2; 0,2;<br>0,2; 0,2; 0,2; 0,2;                          | 10                         | 2,6                                                | 0,81                      |       |

Виходячи з отриманих значень, пористість покриття з порошку ВКНА складає 1,106.

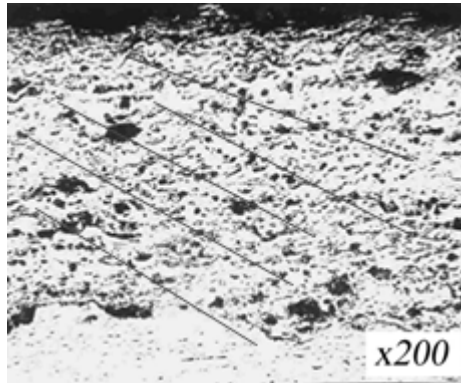


Рисунок 3.15 – Розташування ліній на зображенні мікроструктури покриття ПКХН-15

Таблиця 3.12 – Результати розрахунку пористості покриття із порошку ПКХН-15

| № лінії | Довжина Лінії, мм | Довжина відрізків $l_i$ , мм                                                | Кількість відрізків $z$ | Сумарна довжина відрізків $\sum l_i$ , мм | Індекс пористості $I_n$ , |       |
|---------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|-------|
|         |                   |                                                                             |                         |                                           | $I_{ni}$                  | $I_n$ |
| 1       | 41                | 0,2; 0,2; 0,2; 0,5; 0,2; 0,2;<br>0,5; 0,5; 0,5; 1; 1; 0,5; 0,2;<br>0,2; 0,2 | 15                      | 6,1                                       | 1,48                      | 1,096 |
| 2       | 40                | 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,5; 0,2;<br>0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2          | 13                      | 2,9                                       | 0,72                      |       |
| 3       | 39                | 0,5; 0,2; 2,5; 0,2; 0,2; 0,2;<br>0,5; 0,5; 0,2; 0,2; 0,2                    | 11                      | 5,4                                       | 1,38                      |       |
| 4       | 41                | 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2;<br>0,2; 0,5; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2;              | 12                      | 2,7                                       | 0,81                      |       |
| 5       | 36                | 0,2; 2,5; 0,2; 0,2; 0,5; 0,2;<br>0,5; 0,2                                   | 8                       | 4,5                                       | 1,25                      |       |

Виходячи з отриманих значень, пористість покриття з порошку ПКХН-15 складає 1,096.

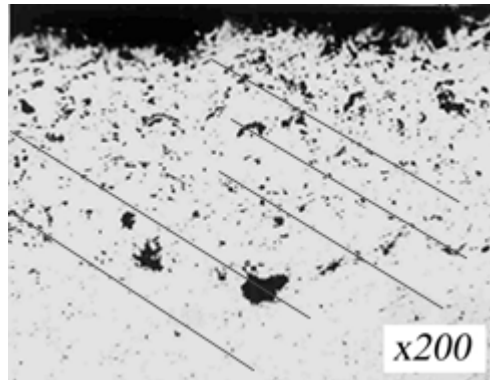


Рисунок 3.16 – Розташування ліній на зображенні мікроструктури покриття  
ПХ20Н80

Таблиця 3.13 – Результати розрахунку пористості покриття із порошку  
ПХ20Н80

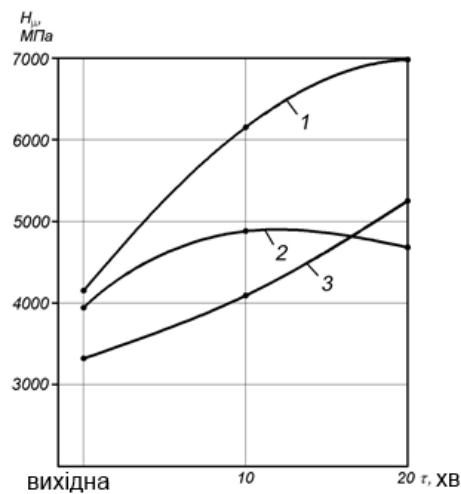
| №<br>лінії | Довжина<br>Лінії h,<br>мм | Довжина відрізків l <sub>i</sub> , мм                                    | Кількість<br>відрізків z | Сумарна<br>довжина<br>відрізків<br>$\sum l_i$ , мм | Індекс пористості I <sub>п</sub> , |                |
|------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------|----------------|
|            |                           |                                                                          |                          |                                                    | I <sub>пi</sub>                    | I <sub>п</sub> |
| 1          | 39                        | 0,2; 0,5; 0,2; 1; 0,5; 0,5; 0,5;<br>0,2; 0,2; 0,2; 1; 0,5; 0,2           | 13                       | 4,7                                                | 1,202                              | 1,077          |
| 2          | 38                        | 0,5; 0,2; 0,2; 0,2; 0,5; 0,2;<br>0,5; 0,5; 0,2; 0,5; 0,2; 0,2; 1;<br>0,2 | 14                       | 5,1                                                | 1,34                               |                |
| 3          | 36                        | 0,5; 0,5; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2;<br>0,2; 0,2; 0,2                           | 9                        | 2,4                                                | 0,66                               |                |
| 4          | 49                        | 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,5; 0,5;<br>0,2; 0,2; 0,2; 4,5; 0,2                 | 11                       | 7,1                                                | 1,449                              |                |
| 5          | 39                        | 0,2; 0,5; 0,2; 1; 0,2; 0,2; 0,2;<br>0,2; 0,2                             | 9                        | 2,9                                                | 0,74                               |                |

Виходячи з отриманих значень, пористість покриття з порошку  
ПХ20Н80 складає 1,077.

Проведенні розрахунки показують що різниця у значенні пористості  
невелика, але найменшу пористість має покриття ПХ20Н80.

### 3.4 Мікротвердість покриттів після УЗЗ

Результати визначення мікротвердості наведені в табл. 3.14. При ультразвуковому зміцненні всіх покриттів підвищення мікротвердості  $H_{\mu}$  відбувається при збільшенні тривалості часу  $\tau$  до 20 хв. При зміцненні покриття ПКХН-15 ( $\tau = 20$  хв) має місце максимальний приріст мікротвердості з 4150 МПа до 6980 МПа. При зміцненні покриття ВКНА максимальний приріст мікротвердості спостерігається після 10 хв обробки, а потім відбувається частковий спад міцності, що пояснюється складним фазовим складом покриття (рис. 3.17).



1 – ПКХН-15; 2 – ВКНА; 3 – ПХ20Н80

Рисунок 3.17 – Залежність мікротвердості від тривалості УЗЗ

Таблиця 3.14 – Значення мікротвердості покриттів після УЗЗ

| Назва покриття | Мікротвердість H <sub>μ</sub> , МПа |             |           |           | Коефіцієнт підвищення зносостійкості |
|----------------|-------------------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------------------------------|
|                | Вихідна                             | З покриттям | УЗЗ       |           |                                      |
|                |                                     |             | τ (10 хв) | τ (20 хв) |                                      |
| ПХ20Н80        | 3050                                | 3320        | 4090      | 5250      | 1,72                                 |
| ПКХН-15        | 3050                                | 4150        | 6150      | 6980      | 2,29                                 |
| ВКНА           | 3050                                | 3940        | 4880      | 4680      | 1,6                                  |

Проведені дослідження показали, що ультразвукове зміцнення детонаційних покриттів ПХ20Н80, ПКХН-15 і ВКНА тривалістю 10-20 хв приводить до приросту мікротвердості. Для покриття з порошку

ПХ20Н80 приріст мікротвердості складає 1930 МПа. Для покриття з порошку ПКХН-15 2830 МПа. А для покриття з порошку ВКНА приріст мікротвердості складає 940 МПа для 10 хв, але при 20 хв, він зменшується до 740 МПа. Приріст мікротвердості показує, що для кожного покриття є можливість додаткового зміцнення за допомогою УЗЗ.

## 4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Характеристика та тенденції розвитку ринку технологій детонаційного напилення

Напилення уявляє собою процес нанесення покриття на поверхню деталі за допомогою високотемпературного швидкісного струменя, який містить частинки порошку або краплі розплавленого напилюваного матеріалу, котрі осідають на основному металі під час ударного зіткнення з його поверхнею.

Існують наступні методи напилення: газополуменеве напилення, дугова металізація, плазмове напилення, електроімпульсне нанесення покриттів, детонаційне напилення.

Для більш повного аналізу варто відмітити переваги та недоліки детонаційного методу.

Цей метод має ряд наступних переваг:

- міцність зчеплення покриттів з виробом досягає 180 – 360 МПа, що на порядок вище ніж у покриттів, виготовлених іншими методами, та дозволяє застосувати їх для зміцнення та відновлення деталей, що працюють в екстремальних умовах при дії великих контактних та ударних напружень;
- товщина нанесеного шару практично не обмежується і знаходиться в інтервалі 5 – 500 мкм.
- температура деталей при напиленні залежить від її розмірів і не перевищує 530 К. Через малу тривалість процесу напилення, температурний вплив незначний;
- незначний термічний вплив на матеріал що напиляють в наслідок малої тривалості циклу дозволяє формувати покриття з рівномірними фізико-механічними властивостями по поверхні та товщині;

В сучасний час метод детонаційного напилення успішно використовують для зміцнення і відновлення антивібраційних лопаток 1 ступені компресору двигунів НК-22, ДЗО, стаканів робочих форсунок камер згорання та інших. В той же час незважаючи на переваги в властивостях

нанесених покриттів, впровадження детонаційного методу просувається дуже повільно. Причиною тому є:

- високий рівень шуму (120-140 дБ), що потребує будування окремого боксу;
- відсутність єдиних технологічних рекомендацій по вибору режимів напилення різноманітних порошкових матеріалів;
- низька продуктивність методу та більш вузька спеціалізація.

На рисунку 4.1 можна більш наочно спостерігати тенденції використання методів нанесення покриттів. З діаграми видно, що найбільш часто використовуються газополуменевий метод, завдяки більш простій технології, та більшій варіативності і продуктивності методу [16].

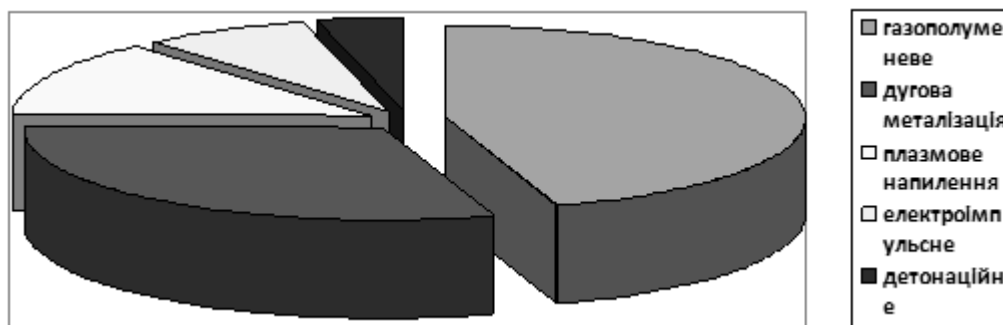


Рисунок 4.1 – Частка використання методів при нанесенні покриттів

Для підвищення рівня якості та конкурентоспроможності (зниження рівня пористості та шуму) доцільне використання методу нанесення детонаційних покриттів. Завдяки кращим показникам пористості та міцності зчеплення, детонаційний метод добре підходить для виготовлення відповідальних покриттів, тому використовується при виготовленні покриттів на лопатках та інших деталей з високими вимогами[17].

Основним виробником детонаційних покриттів у Запоріжжі можна вважати АО «Мотор Січ», де даний метод широко використовується для нанесення покриттів на лопатки. Найбільшим виробником жароміцних сплавів та порошків для нанесення покриттів у Запоріжжі можна вважати ПрАТ «Дніпроспецсталь». Також у місті існує більше 70 фірм поставників жароміцних сплавів та порошків.

З вище сказаного можна зробити висновок що детонаційне напилення не може скласти конкуренцію іншим методом оскільки є вузькоспеціалізованим та потребує модернізації як в технічному так і в технологічному плані, але високі показники якості цього методу роблять його незамінним при виготовленні відповідальних деталей.

#### 4.2 Визначення трудомісткості та тривалості НДР

Весь комплекс науково-дослідних робіт можна підрозділити на типові етапи. По кожному етапу указують виконавців і трудомісткість чи тривалість виконання робіт.

Трудомісткість НДР розраховується в нормо-годинах чи людино-днях витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки її ступеня її новизни, кваліфікації виконавців, наявності в них навичок дослідницької роботи, від використовуваних матеріалів, вимог надійності, технічних умов комплектуючих схем і т.д.

Для визначення трудомісткості типових етапів робіт можна використовувати укрупнені нормативи на ці етапи, що маються на підприємствах і в НДІ. При відсутності таких нормативів використовують трудомісткість етапів аналогічних робіт. Аналогічною роботою вважається дослідження з таких само функціональним призначенням чи завданням.

Розрахунок тривалості виконання НДР і кожного її етапу роблять відповідно до кількості виконавців по кожному етапу по формулі:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R \cdot K_{\text{в.н.}}}, \quad (4.1)$$

де  $T_{\text{ц}}$  – тривалість циклу, днів;

$Q$  – трудомісткість робіт, люд.-годин;

$R$  – кількість виконавців, людей;

$K_{\text{в.н.}}$  - плановий коефіцієнт виконання норм на відрядних роботах,  $K_{\text{в.н.}} = 1,05 \dots 1,1$ .

Визначаємо трудомісткість робіт, люд.-годин

-  $Q$ : 
$$Q = T_{\text{ц}} \cdot R \cdot K_{\text{в.н.}}$$

Результати розрахунків зводять у табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Тривалість етапів НДР

| Етап НДР                               | Трудомісткість |               | Виконавці                                                      |                 | Тривалість, днів |
|----------------------------------------|----------------|---------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|
|                                        | Людино-днів    | % до підсумку | Спеціальність                                                  | Кількість людей |                  |
| 1. Пошук літератури                    | 4,32           | 2,84          | Молодший науковий співробітник                                 | 1               | 4                |
| 2. Підготовка матеріалів               | 5,4            | 3,62          | Лаборант                                                       | 1               | 5                |
| 3. Розробка методики                   | 17,28          | 11,6          | Головний науковий Співробітник, Молодший науковий керівник     | 2               | 8                |
| 4. Виготовлення зразків                | 9,72           | 6,52          | Лаборант                                                       | 1               | 9                |
| 5. Проведення вихідних досліджень      | 23,76          | 15,95         | Молодший науковий співробітник, Лаборант                       | 2               | 11               |
| 6. Обробка зразків                     | 7,56           | 5,07          | Лаборант                                                       | 1               | 7                |
| 7. Проведення металографічного аналізу | 5,4            | 3,62          | Молодший науковий співробітник                                 | 1               | 5                |
| 8. Аналіз фазового складу              | 15,12          | 10,5          | Молодший науковий співробітник, Лаборант                       | 2               | 7                |
| 9. Розрахунок пористості               | 4,32           | 2,84          | Молодший науковий співробітник                                 | 1               | 4                |
| 10. Обробка результатів                | 21,6           | 14,5          | Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник | 2               | 10               |
| 11. Складання звіту                    | 25,92          | 17,4          | Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник | 2               | 12               |
| 12. Оформлення графічних матеріалів    | 8,64           | 5,8           | Молодший науковий співробітник                                 | 1               | 8                |
| Разом                                  | 149,04         | 100           | -                                                              | 3               | 90               |

Розрахунок очікуваного часу виконання етапу робіт із формули:

$$t_{\text{оч}} = , \quad (4.2) \text{ де } t_{\text{оч}} - \text{очікувана}$$

оптимальна оцінка часу виконання етапу НДР, днів;

$t_{\text{min}}$  – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах,

днів;

$t_{\max}$  – максимальні

витрати часу на виконання роботи з даного етапу при несприятливих умовах, днів.

Розрахунок

дисперсії  $\sigma^2$  являє собою значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається по формулі:  $\sigma^2(t) = \left( \frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \right)^2$ , (4.3) Результати

розрахунків зводяться в табл.1.2

Таблиця 4.2 –

Тривалість НДР

| Етап НДР                               | Тимчасові оцінки, днів |            |                 | Дисперсія | Виконавці                                                      |                  |
|----------------------------------------|------------------------|------------|-----------------|-----------|----------------------------------------------------------------|------------------|
|                                        | $t_{\min}$             | $t_{\max}$ | $t_{\text{оч}}$ |           | Спеціальність                                                  | Кількість, людей |
| 1. Пошук літератури                    | 3                      | 5          | 4               | 0,16      | Молодший науковий співробітник                                 | 1                |
| 2. Підготовка матеріалів               | 4                      | 5          | 4               | 0,04      | Лаборант                                                       | 1                |
| 3. Розробка методики                   | 6                      | 9          | 7               | 0,36      | Головний науковий Співробітник, Молодший науковий керівник     | 2                |
| 4. Виготовлення зразків                | 8                      | 10         | 9               | 0,16      | Лаборант                                                       | 1                |
| 5. Проведення вихідних досліджень      | 10                     | 13         | 11              | 0,36      | Молодший науковий співробітник, Лаборант                       | 2                |
| 6. Обробка зразків                     | 4                      | 8          | 6               | 0,64      | Лаборант                                                       | 1                |
| 7. Проведення металографічного аналізу | 3                      | 6          | 4               | 0,36      | Молодший науковий співробітник                                 | 1                |
| 8. Аналіз фазового складу              | 6                      | 8          | 7               | 0,16      | Молодший науковий співробітник, Лаборант                       | 2                |
| 9. Розрахунок пористості               | 3                      | 5          | 4               | 0,16      | Молодший науковий співробітник                                 | 1                |
| 10. Обробка результатів                | 8                      | 11         | 9               | 0,36      | Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник | 2                |
| 11. Складання звіту                    | 11                     | 13         | 12              | 0,16      | Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник | 2                |
| 12. Оформлення графічних матеріалів    | 6                      | 9          | 7               | 0,36      | Молодший науковий співробітник                                 | 1                |
| Разом                                  | 72                     | 102        | 84              | 3,28      | -                                                              | 3                |

Складання календарного графіка (рис. 4.2)

Використовуючи дані табл.4.1 і 4.2, побудуємо календарний графік

виконання НДР.

При побудові сіткового графіка необхідно скласти перелік робіт і подій за таблицею 4.3.

Таблиця 4.3 – Перелік робіт і подій для сіткового графіка

| Номер події | Події                               | Код роботи | Зміст роботи                                                                                                                     | Тривалість роботи |
|-------------|-------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1           | Пошук літератури                    | 1-2        | Уточнення проектного завдання. Підбор і аналіз літератури й аналогів. Уточнення змісту теми і питань, зв'язаних з її виконанням. | 4                 |
| 2           | Підготовка матеріалів               | 1-3        | Підготовка порошків для нанесення покриттів, жароміцного сплаву для виготовлення зразків, реактивів.                             | 5                 |
| 3           | Розробка методики                   | 2-4        | Складання методики досліджень та плану їх проведення.                                                                            | 8                 |
| 4           | Виготовлення зразків                | 3-5        | Виготовлення зразків покриттів з порошків на лопатках.                                                                           | 9                 |
| 5           | Проведення вихідних досліджень      | 4-5        | Дослідження мікроструктури, фазового складу, мікротвердості у вихідному стані.                                                   | 11                |
| 6           | Обробка зразків                     | 6-7        | Обробка зразків ультразвуковим зміцненням.                                                                                       | 7                 |
| 7           | Проведення металографічного аналізу | 7-8        | Проведення детального аналізу мікроструктури кожного типу зразків.                                                               | 5                 |
| 8           | Аналіз фазового складу              | 7-9        | Визначення фазового складу зразків.                                                                                              | 7                 |
| 9           | Розрахунок пористості               | 7-10       | Проведення розрахунку пористості для кожного зразку.                                                                             | 4                 |
| 10          | Обробка результатів                 | 7-11       | Узагальнення отриманих результатів досліджень, визначення шляхів подальшого їхнього використання отриманих результатів.          | 10                |
| 11          | Складання звіту                     | 11-12      | Узагальнення та запис проведених досліджень, складання звіту, його обговорення і затвердження.                                   | 12                |
| 12          | Оформлення графічних матеріалів     | 12-13      | Оформлення графічних матеріалів для наочності результатів роботи.                                                                | 8                 |

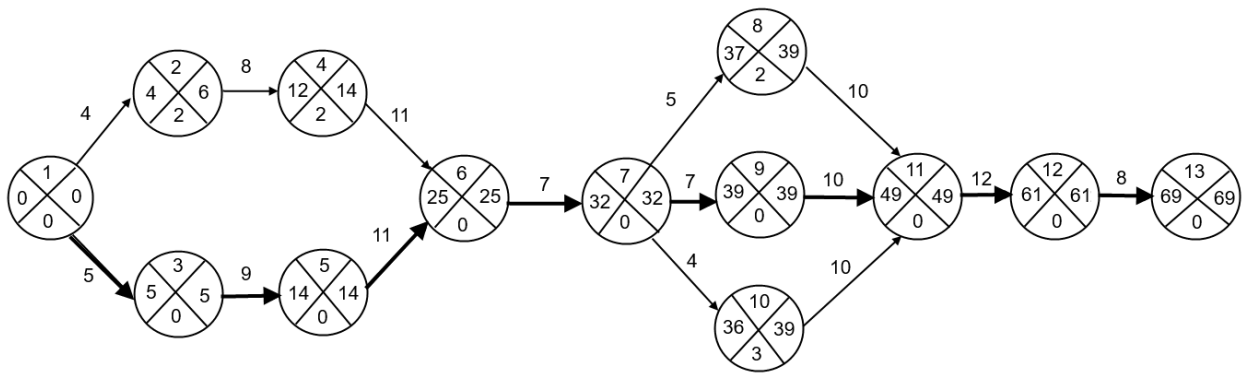


Рисунок 4.2 – Схема календарного графіку

Після складання сіткового графіка визначаємо його параметри:

$t$  – тривалість шляхів;

$t_{\text{Лкр}}$  – тривалість критичного шляху;

$R_{\text{Лр}}$  – резерв часу шляхів;

$t_i^p$  – ранній термін здійснення події;

$t_i^n$  – пізній термін здійснення події;

$R_i$  – резерв часу здійснення події;

$t_{ij}^{pn}$  – ранній термін початку роботи;

$t_{ij}^{pz}$  – ранній термін закінчення роботи;

$t_{ij}^{nn}$  – пізній термін початку роботи;

$t_{ij}^{nz}$  – пізній термін закінчення роботи;

$R_{ij}^n$  – повний резерв часу роботи;

$R_{ij}^b$  – вільний резерв часу роботи;

$K_{\text{HL}}$  – коефіцієнт напруженості шляху.

Результати розрахунків звести в таблиці 4.4 – 4.6

Таблиця 4.4 – Параметри шляхів

| Номер шляху | Номера подій, через які проходить шлях | Тривалість робіт, через які проходить шлях | Довжина шляху | Резерв шляху |
|-------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|--------------|
| 1           | 1-2-4-6-7-8-11-12-13                   | 4-12-25-32-37-49-61-69                     | 64            | 6            |
| 2           | 1-2-4-6-7-9-11-12-13                   | 4-12-25-32-39-49-61-69                     | 65            | 4            |
| 3           | 1-2-4-6-7-10-11-12-13                  | 4-12-25-32-36-49-61-69                     | 62            | 7            |
| 4           | 1-3-5-6-7-8-11-12-13                   | 5-14-25-32-37-49-61-69                     | 67            | 2            |
| 5           | 1-3-5-6-7-9-11-12-13                   | 5-14-25-32-39-49-61-69                     | 69            | 0            |
| 6           | 1-3-5-6-7-10-11-12-13                  | 5-14-25-32-36-49-61-69                     | 66            | 3            |

Таблиця 4.5 – Параметри подій

| Кількість робіт, що передують події | Номер події | $t^p_i$ | $t^n_i$ | $R_i$ |
|-------------------------------------|-------------|---------|---------|-------|
| 0                                   | 1           | 0       | 0       | 0     |
| 1                                   | 2           | 4       | 6       | 2     |
| 1                                   | 3           | 5       | 5       | 0     |
| 2                                   | 4           | 12      | 14      | 2     |
| 2                                   | 5           | 14      | 14      | 0     |
| 3                                   | 6           | 25      | 25      | 0     |
| 4                                   | 7           | 32      | 32      | 0     |
| 5                                   | 8           | 37      | 39      | 2     |
| 5                                   | 9           | 39      | 39      | 0     |
| 5                                   | 10          | 36      | 39      | 3     |
| 6                                   | 11          | 49      | 49      | 0     |
| 7                                   | 12          | 61      | 61      | 0     |
| 8                                   | 13          | 69      | 69      | 0     |

Таблиця 4.6 – Параметри робіт

| Код роботи | $t_{ij}$ | $t_{ij}^{pn}$ | $t_{ij}^{p3}$ | $t_{ij}^{nn}$ | $t_{ij}^{n3}$ | $R_{ij}^n$ | $R_{ij}^B$ |
|------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|------------|
| 1-2        | 4        | 0             | 4             | 0             | 6             | 2          | 0          |
| 1-3        | 5        | 0             | 5             | 0             | 5             | 0          | 0          |
| 2-4        | 8        | 4             | 12            | 6             | 14            | 2          | 0          |
| 3-5        | 9        | 5             | 14            | 4             | 14            | 0          | 0          |
| 4-5        | 11       | 14            | 25            | 14            | 25            | 0          | 0          |
| 6-7        | 7        | 25            | 32            | 25            | 32            | 0          | 0          |
| 7-8        | 5        | 32            | 37            | 32            | 39            | 2          | 0          |
| 7-9        | 7        | 32            | 39            | 32            | 39            | 0          | 0          |
| 7-10       | 4        | 32            | 36            | 32            | 39            | 3          | 0          |
| 7-11       | 10       | 39            | 49            | 39            | 49            | 0          | 0          |
| 11-12      | 12       | 49            | 61            | 49            | 61            | 0          | 0          |
| 12-13      | 8        | 61            | 69            | 61            | 69            | 0          | 0          |

Коефіцієнт напруженості шляху  $K_H$  визначаємо за формулою:

$$K_H = \frac{t(L_{\max}) - t_{l_{kp}}}{t_{kp} - t_{l_{kp}}} \quad (4.4)$$

де  $t(L_{\max})$  – тривалість шляху;  $t_{kp}$  – довжина критичного шляху;  $t_{l_{kp}}$  – тривалість відрізка що розглядають, що співпадає з критичним.

$$K_{H1} = 0.88;$$

$$K_{H2} = 0.84;$$

$$K_{H3} = 0.833;$$

$$K_{H4} = 0.88;$$

$$K_{H5} = 1;$$

$$K_{H6} = 0.82.$$

#### 4.3 Визначення витрат на проведення НДР

У складі витрат на проведення НДР враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

З метою визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи слід скласти кошторис витрат (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Кошторис витрат на виконання НДР

| Стаття витрат                      | Сума, грн. |
|------------------------------------|------------|
| Матеріали                          | 27599,25   |
| Витрати на спеціальне устаткування | 31353,45   |
| Основна заробітна плата            | 26070      |
| Додаткова заробітна плата          | 2346,3     |
| Єдиний соціальний внесок           | 6251,58    |
| Накладні витрати                   | 23463      |
| Витрати на енергоресурси           | 67,28      |
| Інші витрати                       | 594,29     |
| Разом                              | 117745,15  |

Розрахунок вартості матеріалів.

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження (табл.4.8).

Ціни на матеріальні ресурси визначають за відповідними прайс-листами. Транспортно-заготівельні витрати: 3-5% від вартості матеріалів.

Таблиця 4.8 - Розрахунок вартості матеріалів

| Матеріал                                | Витрати матеріалу,<br>кг | Ціна за одиницю,<br>грн/т | Сума витрат,<br>грн. |
|-----------------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Сплав ВТЗ-1                             | 20                       | 500000                    | 10000                |
| Порошок ПКХН-15                         | 2,5                      | 2000000                   | 5000                 |
| Порошок ПХ20Н80                         | 2,5                      | 1850000                   | 4625                 |
| Порошок ВКНА                            | 2,5                      | 1290000                   | 6450                 |
| HF                                      | 1                        | -                         | 110                  |
| HNO <sub>3</sub>                        | 1                        | -                         | 100                  |
| Усього                                  |                          |                           | 26285                |
| Транспортно - заготівельні витрати (5%) |                          |                           | 1314,25              |
| Усього                                  |                          |                           | 27599,25             |

Спеціальне устаткування для науково-експериментальних робіт.

В цій статті враховуються витрати на закупівлю, доставку і монтаж

лабораторних установок, вимірювальних і регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури і тому подібне (табл.4.9)

Таблиця 4.9 - Витрати на спеціальне устаткування

| Перелік устаткування  | Марка        | Кількість | Ціна за одиницю, грн. | Собівартість експлуатації, год. |
|-----------------------|--------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|
| Твердомір             | ТК-2         | 1         | 23500                 | 705                             |
| Мікроскоп             | МИМ-8        | 1         | 4615                  | 138,45                          |
| Детонаційна установка | УДК-3        | 1         | 80000                 | 2400                            |
| Дифрактометр          | ДРОН-1       | 1         | 687000                | 20610                           |
| Установка для УЗЗ     | УЗГК-5-22 МС | 1         | 250000                | 7500                            |
| Разом                 |              |           |                       | 31353,45                        |

Розрахунок заробітної плати.

Витрати по цій статті складаються з планового фонду заробітної плати усіх категорій працівників, зайнятих в проведенні наукових досліджень.

Розрахунок заробітної плати робиться на підставі даних про трудомісткість (табл.4.10)

Кількість місяців роботи науково-дослідної групи задається на підставі терміну виконання дипломної роботи. В даному випадку 90 днів. Місячні посадові оклади і годинні тарифні ставки приведені в додатку. Результати розрахунків зводяться в таблиці.

Таблиця 4.10 - Розрахунок основної заробітної плати

| №     | Посада виконавця               | Кількість, Людей | Місячний оклад, грн | Середньоденна зарплата, грн | Зайнятість НДР, днів | Підсумкова сума, грн |
|-------|--------------------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 1     | Головний науковий співробітник | 1                | 5400                | 270                         | 30                   | 8100                 |
| 2     | Молодший науковий співробітник | 1                | 3400                | 170                         | 69                   | 11730                |
| 3     | Лаборант                       | 1                | 3200                | 160                         | 39                   | 6240                 |
| Разом |                                |                  |                     |                             |                      | 26070                |

Додаткова зарплата визначається в розмірі 8-10 % від основної заробітної плати штатних працівників.

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,09 = 26070 \cdot 0,09 = 2346,3 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

Основна й додаткова заробітна плата по кошторису не повинна перевищувати 40 % кошторисної вартості.

Відрахування на соціальні заходи визначаються в розмірі 22 % від основної й додаткової заробітної плати.

$$C_{\text{соц.стр.}} = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot 0,22 = (26070 + 2346,3) \cdot 0,22 = 6251,58 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Накладні витрати по проведенню науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців ( у межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

$$C_n = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,9 = 26070 \cdot 0,9 = 23463 \text{ грн.} \quad (4.7)$$

Стаття "Інші витрати" складає 2-3 % суми усіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

$$C_i = (C_{\text{соц.стр.}} + C_n) \cdot 0,02 = (6251,58 + 23463) \cdot 0,02 = 594,29 \text{ грн.} \quad (4.8)$$

Розрахунок витрат на енергоспоживання

Витрати на силову енергію визначають по формулі:

$$(4.9)$$

де  $P_y$  – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$  – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, годин;

$K_b$  – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ( $K_b \approx 0,8 \dots 0,9$ );

$\Pi_e$  – ціна 1 кВт година електроенергії, грн./кВт година;

ККД = 0,8...0,9.

Виконанні розрахунки занесено в таблицю 4.11

Таблиця 4.11 – Розрахунок вартості енергоресурсів

| Устаткування             | Потужність,<br>кВт | Φ <sub>еф</sub> , год. | Ціна, грн./кВт<br>година | Вартість<br>енергоресурсів |
|--------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Твердомір                | 0,1                | 2                      | 0,9                      | 0,18                       |
| Мікроскоп                | 0,17               | 4                      |                          | 0,6                        |
| Детонаційна<br>установка | 15                 | 4                      |                          | 54                         |
| Дифрактометр             | 5,5                | 2                      |                          | 10                         |
| Установка для<br>УЗЗ     | 5                  | 1                      |                          | 4,5                        |
| Разом                    |                    |                        |                          | 67,28                      |

#### 4.4 Розрахунок економічної ефективності

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі:

$$, \quad (4.10)$$

де  $K_{\text{НДР}}$  – рівень ефективності дослідження;

де  $J^n$  – важливість роботи;

де  $R$  – результативність роботи;

де  $T$  – технічна складність виконання НДР;

де  $B_{\text{НДР}}$  – витрати на проведення НДР, тис. грн.;

де  $n$  – показник використання результатів НДР;

де  $t_{\text{НДР}}$  – тривалість проведення НДР, років.

$$= 1,63$$

При проведенні теоретичних НДР і використання їхніх результатів на промисловому підприємстві техніко-економічну ефективність можна визначити, використовуючи значення наступних коефіцієнтів:

$K_1$  – коефіцієнт, що характеризує досягнутий ефект;

$K_2$  – коефіцієнт обсягу використання результатів НДР;

$K_3$  – коефіцієнт складності вирішення задачі;

$K_4$  – коефіцієнт істотних відмінностей;

Для визначення ступеня ефективності проведеної НДР необхідно, щоб добуток цих коефіцієнтів був не менше 4, в даному випадку:

$$K = 1,3 \cdot 1,5 \cdot 1,25 = 2,44$$

Галузевий коефіцієнт економічної ефективності  $K_{\text{НДР}} = 1,5$ , виходячи з проведених розрахунків ми отримали  $K_{\text{НДР}} = 1,63$ , тому можна зробити висновок, що дані дослідження є економічно доцільними та ефективними.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушенням вимог ергономіки стосовно організації робочого місця дослідника в приміщенні дослідницької лабораторії.

б) Можливість ураження електричним струмом внаслідок порушення правил з електробезпеки, що може призвести до електротравм або летального наслідку.

в) Негативний вплив іонізуючого випромінювання при визначенні фазового складу вихідних порошків методом рентгеноструктурного мікроаналізу на дифрактометрі ДРОН-1.

г) Небезпеки які пов'язані з проведення дослідницьких робіт по нанесенню покриттів ВКНА, ПКХН-15, ПХ20Н80 на інсталяції "УДК-3", зокрема негативний вплив звукової детонаційної хвилі, що може бути загрозою для органів слуху, можливість отримання травм, при порушенні правил з техніки безпеки при роботі на інсталяції "УДК-3".

д) Небезпеки які пов'язані з УЗЗ, зокрема негативний вплив ультразвукових полів

е) Небезпеки які пов'язані з визначенням мікроструктури, та пористості на дослідницьких зразках методом оптичної мікроскопії.

ж) Незадовільний параметр повітряного середовища в адміністративному приміщенні. Причиною може бути незадовільна робота систем опалення та повітрообміну.

з) Недостатнє освітлення приміщень де розташоване робоче місце конструктора, що може бути пов'язано з нераціональним вибором освітлювальних приборів.

к) Можливість загорянь внаслідок порушення правил з пожежної безпеки, що може призвести до пожежі.

л) Небезпеки які пов'язані з умовами праці у надзвичайній ситуації.

## 5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Згідно ГОСТ 12.2.032-78. « СС. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300 мм, довжина – не менш 400 мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачити борти висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, що можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також крісло обов'язково повинно бути з підколінниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння й спинки. Монітор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

б) З метою забезпечення електробезпеки, необхідним є знання основних заходів, для попередження уражень електричним струмом.

Організаційні заходи – до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЄ (правовий устрій з електроустанов). Ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал. Для кожного електроспоживного

обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В – 6 м). Всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами. Відкриття або зйом яких можливий тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.

Обов'язковим є захисне заземлення або занурення. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти. Обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини. Блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

в) Для безпеки роботи на дифрактометрі ДРОН-1 необхідно закрити місця можливого розсіяння рентгенівських променів захисними свинцевими екранами. При встановленні камер з люмінісцентними екранами для візуального спостереження за юстировкою зразка необхідно користуватися захисним просвинцованим склом. Для забезпечення захисту рук оператора від опромінення при юстировці гоніометра необхідно користуватися подовженими торцевими ключами. При використанні іонізаційного методу реєстрації гоніометр під час роботи має бути закритий ширмою або іншим захисним пристроєм, що забезпечує зменшення інтенсивності розсіяного випромінювання до припустимих величин. При випадковому попаданні в сферу дії іонізуючого випромінювання необхідно негайно відключити аварійну установку від електромережі та повідомити про це відповідального за радіаційну безпеку в університеті та керівника.

г) З метою забезпечення безпечної роботи по нанесенню покриттів детонаційним методом, інсталяцію розташовують в окремому приміщенні або кімнаті, також можуть використовувати інші методи загородження для

запобігання можливих механічних травм. Інсталяція генерує високий рівень шуму. Згідно до ДСН 3.3.6.037-99 рівень шуму не повинен перевищувати 50 дБ. Для зниження впливу шуму, можуть застосовувати будівельно-акустичними заходами, за рахунок застосування кожухів, екранів, кабін спостереження, звукоізолюючих облицювань і глушників шуму. Також важливим є використання індивідуальних засобів захисту а саме використання навушників, м'яких шоломів, які знижують рівень звукового тиску на 40-50 дБ.

д) Для забезпечення безпеки при роботі з ультразвуковим зміцненням передбачене екранування ультразвукових генераторів з листової сталі або дюралюмінію покритих звукопоглинаючим матеріалом, з метою захисту персоналу від потужних полів. Згідно ДСН 3.3.6.037-99 рівень звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами нормується в межах від 80 до 40 дБ в залежності від частоти. Також зводиться до мінімуму близький контакт персоналу з джерелом ультразвукових полів.

е) Для попередження ураження органів зору передбачають використання мікроскопа тільки за умови раціональної комбінації об'єтивів, окулярів. При вживанні їх треба пам'ятати, що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Об'єктиви апохромати в поєднанні з компенсаційними окулярами для візуального спостереження дають збільшення. Крім правильної комбінації об'єтивів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них. Об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра; з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з нечіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію

майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві [18].

### 5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці

ж) Для нормалізації параметрів повітряного середовища в виробничих приміщеннях передбачається використовувати технічні засоби по забезпеченню нормованих параметрів. До них відноситься водяне або парове опалення, природна або штучна вентиляція. В холодний період року штучну вентиляцію, проточну витяжку поєднують з функцією підігріву зовнішнього повітря калорифер. У адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери.

#### з) Незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

З метою організації нормованого освітлення виробничого приміщення виконуємо розрахунок освітлення згідно розряду зорової роботи.

#### Розрахунок освітлення

Вибираємо комбіновану систему освітлення. У якості джерела штучного освітлення приймемо люмінесцентні лампи. Люмінесцентні лампи у складі світильників при загальному освітленні рекомендовані у приміщеннях висотою до 6 м, ці лампи нам підходять, бо висота нашого приміщення 4 м. Розряд зорової роботи приймаємо 3. Згідно таких умов доцільно обрати лампи ЛЛ, які мають наступні переваги: висока світловіддача (до 75лм/Вт), висока стабільність світлового потоку, термін експлуатації до 10000 годин, високий індекс кольоропередачі.

Недоліки: високі вартість, повинні обслуговуватись фахівцями, мають складну пускову апаратуру, можливі шум та миготіння, значна пульсація при однофазній схемі підключення.

Вибираємо світильник типу ЛПП (табл. 5.1)

Таблиця 5.1 Характеристика та призначення світильника ЛПП

| Тип світильника     | Світлорозподіл (крива сили світла) | Потужність Лампи у світильнику, Вт | Мінімальна висота підвісу світильника над підлогою, м        | Використання світильника                                                                          | IP | L/h |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|
| Лампи люмінесцентні |                                    |                                    |                                                              |                                                                                                   |    |     |
| ЛПП                 | Прямий (косинусна)                 | 2*(18+80),Вт                       | Р <sub>л</sub> = 40 Вт – 3 м<br>Р <sub>л</sub> = 80 Вт – 4 м | Приміщення висотою до 6м (адміністративно-конторські, для креслення, учбові, побутові приміщення) | 65 | 1,4 |

Коефіцієнт запасу  $k_3$  враховує зниження рівня освітлення з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймаємо для конструкторського бюро  $k_3 = 1,4$ .

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення  $z$  (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), дорівнює:

$z = 1,1$  – для люмінесцентних ламп низького тиску;

Визначаємо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{7 * 5}{1,78 (7 + 5)} = 1,63$$

(5.1) де  $A = 7$  – довжина приміщення, м;

$B = 5$  – ширина приміщення, м;

$h$  – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м;  
 $h = H - h_p - h_3 = 4 - 0,8 - 1,42 = 1,78$  м

(5.2) де  $H = 4$  – висота виробничого приміщення, м;

$h_p$  – висота робочої поверхні над підлогою, м;

м)

(як правило, висота умовної робочої поверхні  $h_p = 0,8$

$h_3$  – висота звисання світильника від стелі, м;

(вибирається за технологічною доцільністю)

Розраховуємо кількість світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot \left[ \frac{L}{H} \right]} = \frac{5}{(4 - 0,8) \cdot [1,4]} = 1,11$$

(5.3) Приймаємо  $N_p = 2$ ;

Визначаємо максимальну припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ м}$$

(5.4) Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{\frac{L}{h}} = 2,5 \cdot \frac{1}{1,4} = 1,78 \text{ м} \quad (5.5)$$

Знаходимо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 4 - 0,8 - 1,78 = 1,42 \text{ м} \quad (5.6)$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$  вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, та індексу приміщення (табл. 5.2)

Вибираємо для люмінесцентних ламп та індексу приміщення  $\eta = 60 \%$

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установи в даному приміщенні:  $E_n K_z$

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot A \cdot B \cdot z \cdot K_z}{\eta} = \frac{500 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{60} = 449,1$$

(5.7) де  $\Phi_{\Sigma}$  – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

$E_n$  – нормоване значення освітленості, лк;

$B$  – площа освітленої поверхні,  $\text{м}^2$ ;

$K_z$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

Таблиця 5.2 – Вибір коефіцієнтів використання світлового потоку світильників

| Тип<br>сві-<br>тиль-<br>ника          | 1/h | Θ<br>с | Θ<br>с | Θ<br>η | Коефіцієнт використання світлового потоку, η % при індексі приміщення; |     |     |     |     |        |     |      |     |      |        |      |     |     |         |        |        |
|---------------------------------------|-----|--------|--------|--------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------|-----|------|-----|------|--------|------|-----|-----|---------|--------|--------|
|                                       |     |        |        |        | 0,5                                                                    | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1      | 1,1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2      | 2,25 | 2,5 | 3,0 | 3,<br>5 | 4      | 5      |
|                                       |     |        |        |        | Світильники з лампами розжарення та люмінесцентними лампами            |     |     |     |     |        |     |      |     |      |        |      |     |     |         |        |        |
| НСП                                   | 0,8 | 70     | 50     | 30     | 22                                                                     | 32  | 39  | 44  | 47  | 4<br>9 | 50  | 52   | 55  | 58   | 6<br>0 | 62   | 64  | 66  | 68      | 7<br>0 | 7<br>3 |
|                                       |     | 50     | 30     | 10     | 20                                                                     | 26  | 34  | 38  | 41  | 4<br>3 | 45  | 47   | 50  | 53   | 5<br>5 | 57   | 59  | 62  | 64      | 6<br>6 | 6<br>9 |
|                                       |     | 30     | 10     | 10     | 17                                                                     | 23  | 30  | 34  | 37  | 3<br>9 | 41  | 43   | 46  | 48   | 5<br>1 | 53   | 55  | 58  | 61      | 6<br>2 | 6<br>4 |
| НПБ                                   | 1,4 | 70     | 50     | 30     | 23                                                                     | 28  | 31  | 38  | 39  | 4<br>2 | 43  | 46   | 49  | 52   | 5<br>4 | 56   | 58  | 60  | 62      | 6<br>3 | 6<br>5 |
|                                       |     | 50     | 30     | 10     | 20                                                                     | 25  | 29  | 34  | 36  | 3<br>8 | 39  | 41   | 44  | 46   | 4<br>8 | 50   | 51  | 53  | 56      | 5<br>7 | 5<br>8 |
|                                       |     | 30     | 10     | 10     | 17                                                                     | 20  | 25  | 30  | 33  | 3<br>4 | 35  | 37   | 39  | 41   | 4<br>4 | 45   | 47  | 50  | 52      | 5<br>3 | 5<br>6 |
| НПО                                   | 1,8 | 70     | 50     | 30     | 10                                                                     | 15  | 19  | 21  | 24  | 2<br>6 | 27  | 28   | 31  | 33   | 3<br>5 | 37   | 39  | 43  | 45      | 4<br>7 | 5<br>0 |
|                                       |     | 50     | 30     | 10     | 7                                                                      | 10  | 14  | 16  | 18  | 2<br>0 | 21  | 23   | 25  | 27   | 2<br>9 | 30   | 32  | 35  | 37      | 3<br>9 | 4<br>2 |
|                                       |     | 30     | 10     | 10     | 5                                                                      | 7   | 10  | 12  | 15  | 1<br>7 | 18  | 19   | 21  | 22   | 2<br>3 | 25   | 27  | 29  | 31      | 3<br>2 | 3<br>5 |
| Світильники з люмінесцентними лампами |     |        |        |        |                                                                        |     |     |     |     |        |     |      |     |      |        |      |     |     |         |        |        |
| ЛПП                                   | 1,4 | 70     | 50     | 30     | 30                                                                     | 34  | 38  | 42  | 45  | 4<br>7 | 50  | 53   | 57  | 60   | 6<br>2 | 64   | 65  | 67  | 6<br>9  | 7<br>0 | 7<br>2 |
|                                       |     | 50     | 30     | 10     | 25                                                                     | 29  | 33  | 36  | 39  | 4<br>2 | 44  | 48   | 52  | 54   | 5<br>7 | 59   | 60  | 63  | 6<br>5  | 6<br>6 | 6<br>9 |
|                                       |     | 30     | 10     | 10     | 20                                                                     | 25  | 29  | 33  | 35  | 3<br>8 | 40  | 43   | 47  | 51   | 5<br>4 | 56   | 57  | 60  | 6<br>2  | 6<br>4 | 6<br>6 |
| ПВЛ                                   | 1,5 | 70     | 50     | 30     | 22                                                                     | 28  | 32  | 35  | 38  | 4<br>1 | 43  | 46   | 50  | 53   | 5<br>5 | 57   | 59  | 61  | 6<br>3  | 6<br>5 | 6<br>7 |

|  |  |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |   |    |    |    |   |   |   |
|--|--|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|---|----|----|----|---|---|---|
|  |  | 50 | 30 | 10 | 16 | 21 | 24 | 27 | 30 | 3 | 34 | 37 | 40 | 43 | 4 | 47 | 48 | 50 | 5 | 5 | 5 |
|  |  |    |    |    |    |    |    |    |    | 2 |    |    |    |    | 5 |    |    |    | 2 | 4 | 6 |
|  |  | 30 | 10 | 10 | 14 | 18 | 21 | 24 | 27 | 2 | 31 | 34 | 37 | 40 | 4 | 44 | 45 | 48 | 5 | 5 | 5 |
|  |  |    |    |    |    |    |    |    |    | 9 |    |    |    |    | 2 |    |    |    | 0 | 1 | 3 |

Визначаємо максимальну відстань  $L_{\max}$  між рядами та сусідніми світильниками у ряду:

$$L_{\max} = [L/h] \cdot h = 1,4 \cdot 1,78 = 2,49 \text{ м} \quad (5.8) \text{ де}$$

$[L/h]$  – числове значення коефіцієнта світильника

Визначаємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{L_{\max}} = \frac{5}{2,49} = 2 \quad (5.9)$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = AB/L_{\max}^2 = 35/2,49^2 = 5,6 \quad (5.10)$$

Приймаємо  $N^* = 6$

#### 5.4 Заходи з пожежної безпеки

к) Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

Для попередження пожеж передбачається використовувати первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого полотна, ящика з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Також необхідно періодично проводити протипожежні інструктажі, навчання та тренування персоналу.

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро

За вибухо-пожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяють на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д.

Встановлення категорії приміщення виконується шляхом послідовної

перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (А) до найнижчої (Д) з урахуванням характеру технологічних процесів і пожежонебезпечних властивостей речовин, що в них застосовується, з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків.

Приймаємо категорію Д, так як ця категорія більш підходить по характеристиці речовин і матеріалів, що зберігаються в приміщенні, а саме знаходяться незаймисті речовини і матеріали в холодному стані, а також кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

#### Визначення класу пожежі

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБНВ.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);

- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;

- клас С – пожежі газів;

- клас D – пожежі металів та їх сплавів;

- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Обираємо клас Е (додатковий) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ адміністративних та

виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії.

Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється згідно вогнегасної здатності вогнегасників, граничної площі, класу пожежі горючих речовин та матеріалів у захищуваному приміщенні, або на об'єкті (стандарт ISO 3941–77). Крім перерахованих параметрів береться до уваги також категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) зумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених їх розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники.

Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати: 20 м – для громадських будівель та споруд; 30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини); 40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д.

### 5.5 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях

#### л) Укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту

Укриття населення в захисних спорудах — це комплекс заходів із завчасним будівництвом захисних споруд, а також пристосуванням наявних приміщень для захисту населення та підтримання їх у готовності до використання.

Укриттю в захисних спорудах у надзвичайних ситуаціях підлягає все населення України. Фонд захисних споруд створюється шляхом обстеження й обліку підземних та наземних будівель і споруд, що відповідають вимогам захисту населення; дообладнання з урахуванням реальної обстановки

підвалів, погребів та інших заглиблених приміщань; обстеження і взяття на облік підземних і наземних будівель та споруд гірничих виробок і природних порожнин, що відповідають вимогам захисту; у разі необхідності переобладнання цих приміщень; будівництво заглиблених споруд пристосованих для захисту, що окремо розташовані від об'єктів виробничого призначення; масового будівництва в період загрози надзвичайних ситуацій найпростіших сховищ та укриттів; будівництво окремих сховищ та протирадіаційних укриттів.

Центральний орган виконавчої влади, до компетенції якого належать питання захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій визначає перелік сховищ, протирадіаційних укриттів та інших захисних споруд, які необхідно будувати, що затверджується Кабіною том Міністрів України.

Потреби в захисних спорудах визначають, виходячи з необхідності укриття всіх працюючих за місцем роботи і проживання, усього непрацюючого населення за місцем проживання.

Укриття населення в захисних спорудах є надійним способом захисту від уражаючих факторів ядерної, хімічної, бактеріологічної, звичайної зброї, у разі аварій і деяких стихійних лих (ураганів, снігових заносів).

Захисні споруди за своїм призначенням і захисними властивостями поділяються на сховища, протирадіаційні укриття (ПРУ) і найпростіші укриття — щілини.

Сховища і протирадіаційні укриття будують завчасно, вони мають подвійне призначення: для потреб об'єктів народного господарства (навчальні класи, для спортивних секцій та ін.) і укриття населення.

Сховища це інженерні споруди, які забезпечують надійний захист людей від усіх уражаючих факторів ядерного вибуху, отруйних і СДЯР, бактеріальних засобів і уражаючих факторів звичайної зброї, обвалів і уламків зруйнованих будівель і споруд.

Класифікуються вони за захисними властивостями, місткістю, місцем розміщення, забезпеченням фільтровентиляційним обладнанням і часом побудови.

За захисними властивостями (від дії вибухової хвилі) сховища поділяються на п'ять класів.

За місткістю сховища поділяються на: малі — до 150 осіб, середні — від 160 до 450, великі — понад 450 осіб.

За місцем розташування — на вбудовані, які розміщені у підвальних приміщеннях будівель, та окремо побудовані поза будівлями.

За забезпеченням фільтровентиляційним обладнанням — промислового виготовлення і спрощене, виготовлене з підручних матеріалів.

За часом побудови на: побудовані завчасно і швидко споруджені.

Сховища будуються з урахуванням таких вимог: забезпечувати захист людей від усіх уражаючих факторів, безперервне перебування в них людей не менше двох діб, розташування на місцевості, що не затоплюється на відстані від ліній водостоку і каналізації, мати входи і виходи з тим ступенем захисту, що й основні приміщення, а на випадок їх завалу — аварійні виходи, мати вільні підходи, де не повинно бути горючих або дуже димлячих матеріалів, висота основних приміщень не менше 2,2 м і рівень полу, вище ґрунтових води не менш як на 20 см.

Сховища складаються з основного приміщення для розміщення людей і допоміжних приміщень — входів, для фільтровентиляційного обладнання, санітарного вузла, для дизельної установки, резервуарів для води чи артезіанських свердловин, для продуктів харчування, медичної кімнати, тамбур-шлюзи, тамбури

Площу приміщення, призначеного для укриття людей, розраховують на одну особу 0,5 м<sup>2</sup> при двоярусному і 0,4 м<sup>2</sup> при триярусному розміщенні нар, у робочих приміщеннях пунктів управління —

2 м<sup>2</sup> на одного працюючого, місця для сидінь розміром 0,45 x 0,45 м, а для лежання — 0,55 x 1,8 м.

Щоб у сховище не проникало повітря, забруднене радіоактивними речовинами, отруєне небезпечними хімічними речовинами і заражене бактеріальними засобами, воно має бути герметичним.

Входи до сховищ обладнують двома шлюзовими камерами (тамбурами), відокремленими від основного приміщення і перегородженими між собою герметичними дверима. Зовні знаходяться міцні захисні герметичні двері, які можуть витримати ударні хвилі ядерного вибуху.

Аварійний вихід — це підземна галерея з виходом на територію, яка не завалюється, через вертикальну шахту й оголовок. Аварійний вихід закривається захисно-герметичними віконницями, дверима для захисту від ударної хвилі. Оголовок розміщується від будівель на відстані, яка дорівнює половині висоти найбільшої будівлі плюс 3 м — це і є територія, яка не завалюється.

У фільтровентиляційному приміщенні розміщується фільтровентиляційний агрегат, який вентилює приміщення й очищає зовнішнє повітря від РР, хімічних речовин і бактеріальних засобів. Фільтровентиляційна система може працювати у двох режимах: чистої вентиляції і фільтровентиляції. У першому режимі повітря очищається від грубодисперсного радіоактивного пилу, а в другому — від решти радіоактивних речовин, а також отруйних, сильнодіючих ядучих речовин і бактеріальних засобів. Крім цього, може бути режим повної ізоляції сховища з регенерацією повітря у ньому.

Якщо сховище загерметизоване повністю і надійно, то після закривання дверей і приведення фільтровентиляційного агрегату в дію тиск повітря всередині сховища стає трохи вищим ніж атмосферний, утворюється так званий підпір. За величиною підпору роблять висновки про стан герметизації сховища: він має дорівнювати приблизно 5 Па (0,5 мм вод. ст.).

У сховищі обладнують різні інженерні системи: електропостачання — труби з електропроводкою фарбують у чорний колір, водопостачання — труби фарбують у зелений колір, опалення — труби фарбують у коричневий

колір, радіотрансляційна точка, телефонний і радіозв'язок. Там також мають бути дозиметричні й хімічні прилади розвідки, засоби індивідуального захисту, засоби гасіння пожеж, аварійний запас інструментів, засоби аварійного освітлення, запас медичних засобів, продуктів і води.

Після деякого дообладнання — встановлення захисних герметичних пристроїв, систем фільтровентиляції, водопостачання та ін., як сховища можуть бути використані шахтні виробки, катакомби, метрополітен, транспортні й пішохідні тунелі, заглиблені частини будівель, підземні (у скельних породах) приміщення різного господарського призначення [19].

## ВИСНОВКИ

Розглянувши газотермічні методи нанесення покриттів із порошкових матеріалів, та порівнявши їх між собою, було обрано детонаційний метод. Надана характеристика порошків.

Із аналізу діаграми стану Ni-Cr робимо висновок, що хімічні сполуки в цій системі не утворюються. Відповідно до хімічного складу порошку ПХ20Н80 маємо припустити, що це частинки  $\alpha$ -твердого розчину на основі Ni, розплавлені тільки з поверхні в процесі нанесення покриття. Покриття ПХ20Н80 є однофазним. У покритті з порошку ПКХН-15 видно частинки карбіду хрому  $Cr_3C_2$  округлої форми що свідчить про те, що вони не розплавлялися при формуванні покриття. Ділянки темного кольору в структурі покриття з ВКНА при великому збільшенні характеризуються наявністю дисперсних фаз, що швидше за все, є евтектичними, що складається із фаз:  $\alpha$ -(Ni) і  $Ni_3Al$ , про що свідчить аналіз діаграми стану Ni-Al.

Відповідно до рентгеноструктурного аналізу можна зробити висновок, що в покритті з порошку ВКНА ми можемо спостерігати утворення фаз: Ni, NiAl,  $Ni_3Al$ ,  $Ni_2Al_3$ . В покритті з порошку ПКХН-15 спостерігаються наступні фази: Ni,  $Cr_3C_2$ . Нових фаз у покритті ПКХН-15 порівняно із вихідним порошком не виявлено.

Згідно з методикою, проведений розрахунок пористості покриттів. Здебільшого пористість не сильно відрізняється, найменше ж значення пористості має покриття ПХ20Н80.

Проведені дослідження показали, що ультразвукове зміцнення детонаційних покриттів ПХ20Н80, ПКХН-15 і ВКНА тривалістю 10-15 хв призводить до приросту мікротвердості. Для покриття з порошку ПХ20Н80 приріст мікротвердості складає 1930 МПа. Для покриття з порошку ПКХН-15

2830 МПа. А для покриття з порошку ВКНА приріст мікротвердості складає 940 МПа для 10 хв, але при 20 хв, він зменшується до 740 МПа. Приріст мікротвердості показує, що для кожного покриття є можливість додаткового зміцнення за допомогою УЗЗ. Найбільший приріст мікротвердості має покриття, одержане на основі порошку ПКХН-15 тому він краще за всіх підходить для ультразвукового зміцнення.

Проведенні розрахунки економічної ефективності даних досліджень, відповідно до яких дослідження можна вважати ефективними. Наведені можливі небезпеки при дослідженні та можливі шляхи їх запобігання.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть 1. Монография. г. Запорожье, изд. ОАО “Мотор Сич”, 2003 г. – 396 с.
2. Дорожкин Н.М. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками. - Минск: Наука и техника, 1975. – 150 с.
3. Кудинов В. Нанесение покрытий напылением. – Л.: ЛДНТП, 1970. – 35 с.
4. Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. – Минск: Навука і тэхніка, 1990.
5. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985.
6. Бутовский К. Г., Лясников В.Н Напыленные покрытия и оборудование: Учеб. пособие для студ. машино-и приборостроит. спец, 1999. –118с.:ил. 4.
7. Астахов Е.А. Влияние детонационных покрытий на механические свойства изделий // Автоматическая сварка. – 2004. – №6. – С. 56 – 57. 2.15. Гецов Л.Б. Детали газовых турбин: Материалы и прочность. – Л.: Машиностроение, 1982. – 296 с.
8. Ульшин В.А., Харламов М.Ю., Борисов Ю.С., Астахов Е.А. Динамика движения и нагрева пороша при детонационном напылении покрытий. – 2006. – №9. – С. 37 – 43. 10.
9. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компресора и вентилятора. Часть I. Монография. г.Запорожье, изд. ОАО “Мотор Сич”, 2003. – 396 с.
10. Цвиккер У. Титан и его сплавы. – М.: Металлургия, 1979. – 510 с.
11. Выбор износостойких покрытий для титановых деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок и упругих деформаций / А.Г. Моляр, О.М. Ивасишин, В.А. Краля и др. // «Ti – 2007 в СНГ».

Международная конференция, 15-18 апреля 2007 г., Ялта – сборник трудов: Изд-во ИМФ НАН Украины. – С. 287–292.

12. Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов / В. И. Лайнер. – М.: Металлургия, 1974. – 559 с. 13. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.

13. Багаряцкий Ю. А. Рентгенография в физическом металловедении / Ю. А. Багаряцкий, Л. Н. Головчинер, В. А. Ильина и др. – М.: Металлургиздат, 1961. – 368 с.

14. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.

15. Диаграммы состояния двойных металлических систем; Д44 Справочник: В 3 т.: Т. 1 / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.: ил.

16. Смирнов А.В. Исследование и прогнозирование развития гражданского авиационного двигателестроения как сложной системы /В сб.: Научные чтения памяти К.Э. Циолковского. Секция “Авиация и воздухоплавание”. 2006.

17. Основы экономики и технологии важнейших отраслей хозяйства: учебное пособие / Н. В. Кавкаева. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 236 с.

18. Жидецкий В.Ц. Основи охорони праці / В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, О.В. Мельников. – вид, 2-е, стереотипне, - Львів: Афиша, 2000, - 348 с.

19. Основы охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.