

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Інженерно-фізичний факультет  
 (повне найменування інституту, факультету)

Кадрове матеріалознавство  
 (повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження та оптимізація  
технології виробництва дроту із сталю ВР10Т2

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи 19-218

Спеціальності 132 Матеріалознавство  
 (код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

„Примари матеріалознавство”  
Алексєєв Ю. Ю  
 (прізвище та ініціали)

Керівник Віщеско В. С.  
 (прізвище та ініціали)

Рецензент Волков І. П.  
 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний  
 кафедра Матеріалознавство  
 ступінь вищої освіти Магістр  
 спеціальність Тришарове матеріалознавство  
(код і найменування)  
 освітня програма (спеціалізація) Тришарове матеріалознавство  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Клименко О.В.  
 « 10 » 12 2019 року

**ЗАВДАННЯ**  
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Алексис Юрій Юрійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи) Дослідження механічних властивостей виробництва дроту із сталю ВР10Т2

Рівень проекту (роботи) Випуск В-С  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом закладу вищої освіти від «      » 20 року №     

Строк подання студентом проекту (роботи)     

Вихідні дані до проекту (роботи) Предмет і об'єкт дослідження хімічний склад сталю ВР10Т2 та механічні властивості виробництва

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно зробити)

1. Вступ, опис літературних джерел
2. Матеріалу на металева дослідження
3. Випли механічних параметрів та вплив умови виробництва

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

Хімічний та механічний властивості; мікросруктура ВР10Т2; апарат для високошвидкісного шліфування; установка розарійної кувалової машини; умови дослідження впливу механічних параметрів кування металу.

Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ     | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|            |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| I          | Вішченко В.С.                             |                |                           |
| II         | Вішченко В.С.                             |                |                           |
| III        | Вішченко В.С.                             |                |                           |
| Експерт.2  | Курікіова В.В., доцент, к.е.н.            | 10.09.19       | 06.12.19                  |
| IV         | Чеснеров О.В.                             |                |                           |
| Морфо-номі | Пітер Д.В.                                |                | 16.12.19                  |

Дата видачі завдання «04» листопада 2019 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                                     | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
|       | Характеристика вальвотрану літературний огляд                                                | 11.10.19                                |          |
|       | Матеріали та методи дослідження                                                              | 25.10.19                                |          |
|       | Вплив технологічних дослідів на величину шуму шкідливих іонізаційних сполук із сімкою ВР1012 | 15.11.19                                |          |
|       | Економічна коштова                                                                           | 27.11.19                                |          |
|       | Дорожні праці по будівництву навукової симуляції                                             | 29.11.19                                |          |

Студент(ка)

(підпис) Александрко Ю.Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) Вішченко В.С.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 93с.15 рис., 13 табл., 25 джерел.

Об'єкт дослідження – процес спікання сплаву ВР10Т2.

Мета роботи - дослідити та оцінити вплив технологічних факторів на величину виходу годної продукції, оптимізація технології виробництва дроту зі сплаву ВР10Т2.

Метод дослідження – скануюча електронна мікроскопія, математичний метод планування експерименту.

Отримано математичну модель процесу спікання, яка пов'язує технологічні параметри з густиною штабиків і представляє собою поліном другого ступеню. Розраховані значення наступних технологічних параметрів: швидкість нагрівання штабиків при спіканні, температура спікання, тривалість витримки, які забезпечують підвищення густини штабика до  $18146 \text{ кг/м}^3$ . По результатам пропрацьованого матеріалу запропонована вдосконалена технологія виробництва дроту зі сплаву ВР10Т2, що дозволяє збільшення виходу годної продукції до 20 %.

Виконано техніко-економічні розрахунки що підтверджують доцільність оптимізації технології. Проаналізовано потенційні небезпеки та запропоновані заходи щодо їх запобігання.

СПІКАННЯ, ШТАБІК, ТЕМПЕРАТУРА, РОЗШАРУВАННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ОКРИХЧУВАННЯ, ФАКТОРИ, ПОРИ.

## ЗМІСТ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                        | 7  |
| 1 Літературний огляд.....                                                                         | 8  |
| 1.1 Характеристика вольфраму .....                                                                | 8  |
| 1.2 Мінерали і руди вольфраму.....                                                                | 9  |
| 1.3 Способи переробки вольфрамових концентратів.....                                              | 10 |
| 1.4 Отримання вольфрамових порошків.....                                                          | 15 |
| 1.5 Метод гідростатичного пресування.....                                                         | 16 |
| 1.6 Плавка.....                                                                                   | 20 |
| 1.7 Спінання великих заготовок.....                                                               | 21 |
| 2 Матеріали та методики досліджень.....                                                           | 23 |
| 2.1 Отримання компактного вольфраму.....                                                          | 23 |
| 2.2 Спінання штабиків.....                                                                        | 24 |
| 2.3 Сварка вольфрам штапика.....                                                                  | 29 |
| 2.4 Ковка вольфрамових штапиків.....                                                              | 29 |
| 2.5 Особливості аналізу матеріалів.....                                                           | 33 |
| 3. Вплив технологічних факторів на величину густини штабиків після спінання із сплаву WP10T2..... | 37 |
| 3.1 Вплив величини зерна на властивості штабиків.....                                             | 37 |
| 3.2 Теоретичне обґрунтування застосування методу планування експерименту.....                     | 47 |
| 3.3 Теоретичний аналіз технології виготовлення штабиків .....                                     | 50 |
| 3.4 Дефекти при спінанні і заходи щодо їх запобігання .....                                       | 60 |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....                                                                         | 63 |
| 4.1 Тенденції розвитку ринку вольфрамових сплавів.....                                            | 63 |
| 4.2 Техніко-економічні розрахунки.....                                                            | 65 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Економічна ефективність.....                                      | 70 |
| 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....              | 72 |
| 5.1 Аналіз потенційних небезпек.....                                  | 72 |
| 5.2 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....               | 74 |
| 5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці..... | 78 |
| 5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....                      | 82 |
| 5.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....                                  | 82 |
| 5.4.2 Заходи захисту у надзвичайних ситуаціях.....                    | 83 |
| Висновок.....                                                         | 85 |
| Перелік джерел посилань.....                                          | 86 |
| Додаток А.....                                                        | 87 |
| Додаток Б.....                                                        | 88 |
| Додаток В.....                                                        | 89 |
| Додаток Г.....                                                        | 90 |
| Додаток Д.....                                                        | 91 |
| Додаток Е.....                                                        | 92 |
| Додаток Ж.....                                                        | 93 |

## ВСТУП

Вольфрамові сплави - досить рідкісний, дорогий і незручний в обробці метал, тому застосовується там, де йому немає альтернативи та незважаючи на це він дуже затребуваний матеріал. Його цінують за твердість, зносостійкість, стійкість до високих температур, високу щільність.

У виробництві сплавів з різними металами. З них роблять медичні інструменти, високоякісні магнітні сталі. Дуже важлива сфера застосування - отримання ріжучих і швидкорізальних сталей, що дозволили збільшити продуктивність верстатів у сотні разів.

В електротехнічній промисловості - виготовлення дроту для ламп розжарювання, електроконтактів; елементів в освітлювальних і електронних лампах; рентгенівських трубок; електродів для аргонно-дугового зварювання. Для виготовлення нагрівальних елементів у високотемпературних вакуумних електропечах (в датчиках для контролю температури в цих печах використовують сплав вольфраму і ренію).

У машинобудуванні - випуск деталей, що вимагають особливої твердості і зносостійкості: зубчастих коліс, шатунів, колінчастих валів, цельнокованые роторів.

У військовій справі потрібно для виготовлення боєприпасів, броні для танків і торпед, надшвидкісних роторів гіроскопів балістичних ракет.

У хімії з стійкого до агресивних реагентів вольфрамового дроту роблять сітки до фільтрів. Як реактив застосовують для управління ходом хімічних реакцій.

Висока щільність дозволяє використовувати вольфрам і його сплави при виготовленні екранів від іонізуючого випромінювання та контейнерів для зберігання радіоактивних матеріалів. Вони виходять легше свинцевих.

## 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Характеристика вольфраму

Вольфрам прийнято відносити до широкої групи рідкісних металів. Крім цього металу в цю групу входять молібден, рубідій та інші. Для рідкісних металів характерні порівняно невеликі масштаби виробництва і споживання, а також мала поширеність в земній корі. Жоден рідкісний метал не отримують безпосереднім відновленням з сировини. Спочатку сировина переробляється на хімічні сполуки. Крім того, всі рідкометалеві руди піддаються додатковому збагаченню перед переробкою.

У процесі отримання рідкого металу можна виділити три основні стадії:

1. Розпад рудного матеріалу - виділення металу від основної маси сировини, що переробляється і концентрування його в розчині або осаді.
2. Отримання чистих хімічних сполук - виділення і очищення хімічної сполуки.
3. Виділення металу з отриманого з'єднання - отримання чистих рідкісних металів.

Процес отримання вольфраму також має кілька стадій. Початковою сировиною є два мінерали - вольфраміт  $(Fe, Mn) WO_4$  і шееліт  $CaWO_4$ . Багаті вольфрамові руди зазвичай мають у своєму складі 0,2 - 2% вольфраму.

1. Збагачення вольфрамової руди. Воно проводиться за допомогою гравітації, флотації, магнітної або електростатичної сепарації. В результаті збагачення отримують вольфрамовий концентрат, що містить 55 - 65% ангідриду (триокису) вольфраму  $WO_3$ . У вольфрамових концентратах контролюється вміст домішок - фосфору, сірки, миш'яку, олова, міді, сурми і вісмуту.

2. Отримання триокису (ангідриду) вольфраму  $WO_3$ , який служить вихідною сировиною для виробництва металевого вольфраму або його карбиду.



Для цього необхідно виконати ряд дій, таких, як розкладання концентратів, вилуговування сплаву, отримання технічної вольфрамової кислоти і ін. В результаті має вийти продукт, що містить 99,90 - 99,95%  $WO_3$ .

3. Отримання вольфрамового порошку. Чистий метал у вигляді порошку може бути отриманий з ангідриду вольфраму  $WO_3$ . Для цього проводять процес відновлення ангідриду воднем або вуглецем. Відновлення вуглецем застосовується рідше, так як при цьому процесі  $WO_3$  насичується карбідами, що робить метал більш крихким і погіршує оброблюваність. При отриманні вольфрамового порошку використовують спеціальні методи, що дозволяють контролювати його хімічний склад, розмір і форму зерен, гранулометричний склад. Наприклад, швидке наростання температури, мала швидкість подачі водню сприяють збільшенню розміру часток порошку.

4. Отримання компактного вольфраму. Компактний вольфрам, як правило, у вигляді штабиків або злитків є заготівкою для виробництва напівфабрикатів, таких, як дріт, прутки, стрічка і так далі.

## 1.2 Мінерали і руди вольфраму

З мінералів вольфраму практичне значення мають мінерали групи вольфрамиту і шееліт.

Вольфраміт ( $xFeWO_4 \cdot yMnWO_4$ ) є ізоморфною сумішшю вольфраматів заліза і марганцю. Якщо в мінералі міститься більше 80% заліза, то мінерал називають ферберитом. Якщо в мінералі більше 80% марганцю, то мінерал називають гібенітом.

Шееліт  $CaWO_4$  є практично чистий вольфрамат кальцію.

Вольфрамові руди містять незначну кількість вольфраму. Мінімальний вміст  $WO_3$ , при якому доцільна їх переробка складає 0,14-0,15% для великих родовищ і 0,4-0,5% для дрібних родовищ. У рудах вольфраму міститься олово у вигляді каситериту, а також мінерали молібдену, вісмуту, миш'яку і міді. Основною порожньою породою є кремнезем.

Вольфрамові руди піддаються збагаченню. Їх збагачують гравітаційним методом, а шеєлітові - флотацією.

Схеми збагачення вольфрамових руд різноманітні і складні. У них поєднуються гравітаційне збагачення з магнітною сепарацією, флотогравітацією і флотацією. Комбінуючи різні методи збагачення, з руд отримують концентрати, що містять до 55-72%  $WO_3$ . Витяг вольфраму з руди в концентрат становить 82-90%.

Складова вольфрамових концентратів коливається в наступних межах,%:  $WO_3$ -40-72;  $MnO$ -0,008-18;  $SiO_2$ -5-10;  $Mo$ -0,008-0,25;  $S$ -0,5-4;  $Sn$ -0,03-1,5;  $As$ -0,01-0,05;  $P$ -0,01-0,11;  $Cu$ -0,1-0,22.

Технологічні схеми переробки вольфрамових концентратів поділяються на дві групи: лужні і кислотні.

### 1.3 Способи переробки вольфрамових концентратів

Незалежно від способу переробки вольфрамітових і шеєлітових концентратів першою стадією їх переробки є розклад, що представляє собою перетворення мінералів вольфраму в легкокорозчинні хімічні сполуки.

Вольфрамітові концентрати розкривають спіканням або сплавом з содою при температурі 800-900°C, в основі якого лежать хімічні реакції:



При спіканні шселітових концентратів при температурі 800-900°C протікають наступні реакції:



С метою зниження витрати соди і запобігання утворенню вільного оксиду кальцію в шихту додають кремнезем для зв'язування оксиду кальцію в важкорозчинний силікат:



Спікання шселітового концентрату, содою і кремнеземом проводять в барабанних печах при температурі 850-900°C.

Отриманий сплав витравлюють водою. При вилуговуванні в розчин виходять вольфрамат натрію  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  і розчинні домішки ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{AsO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) і надлишкова сода. Вилуговування ведуть при температурі 80-90°C в сталевих реакторах з механічним перемішуванням, що працюють в періодичному режимі, або в барабанних обертових печах безперервної дії. Витяг вольфраму в розчині становить 98-99%. Розчин після вилуговування містить 150-200 г/л  $\text{WO}_3$ . Розчин піддають фільтрації, і після відділення твердого залишку направляють на очищення від кремнію, миш'яку, фосфору і молібдену.

Очищення від кремнію засновано на гідролітичному розкладанні  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  при кип'ятінні розчину, нейтралізованого при  $\text{pH} = 8-9$ . Нейтралізацію

надлишкової соди в розчині здійснюють соляною кислотою. В результаті гідролізу утворюється малорозчинна кремнієва кислота:



Для очищення від фосфору і миш'яку використовують метод осадження фосфат і арсенат іонів у вигляді малорозчинних амонійно-магнієвих солей:



Очищення від молібдену засновано на розкладанні сульфосоли молібдену яка утворюється при додаванні до розчину вольфрамату натрію сірчастого натрію:



При подальшому підкисленні розчину до  $\text{pH} = 2,5-3,0$  сульфосолей руйнується з виділенням малорозчинного трисульфіді молібдену:



З очищеного розчину вольфрамату натрію за допомогою  $\text{CaCl}_2$  спочатку осаджують вольфрамат кальцію:



Реакцію проводять в киплячому розчині, що містить 0,3-0.5% лугу при перемішуванні механічною мішалкою. Відмитий осад вольфрамату кальцію у вигляді пульпи або пасти піддається розкладанню в соляній кислоті:



При розкладанні підтримують високу кислотність пульпи порядку 90-120 г/л HCl, що забезпечує відділення від осаду вольфрамової кислоти домішок фосфору, миш'яку та частково молібдену.

Вольфрамову кислоту з очищеного розчину вольфрамату натрію можна отримати також безпосереднім осадженням соляною кислотою. При підкисленні розчину соляною кислотою  $\text{H}_2\text{WO}_4$  випадає в осад у наслідок гідролізу вольфрамату натрію:



Внаслідок реакції гідролізу луг реагує з соляною кислотою:



Додавання реакцій (11) і (12) дає сумарну реакцію осадження вольфрамової кислоти соляною кислотою:



Однак в тому випадку виникають великі труднощі відмивання осаду від іонів натрію. Тому в даний час останній метод осадження вольфрамової кислоти застосовується дуже рідко.

Отримана осадженням технічна вольфрамова кислота містить домішки і тому потребує очищення.

Найбільшого поширення набув аміачний спосіб очищення технічної вольфрамової кислоти. Вона заснована на тому, що вольфрамова кислота добре розчиняється в аміачних розчинах, в той час як значна частина що містяться в ній домішок в розчинах аміаку нерозчинні:



Аміачні розчини вольфрамової кислоти можуть містити домішки молібдену і солей лужних металів.

Більш глибоке очищення досягається виділенням з аміачного розчину великих кристалів паровольфрамат амонію, які отримують шляхом випарювання розчину:



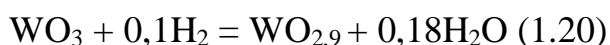
Більш глибока кристалізація недоцільна щоб уникнути забруднення кристалів домішками. З маточного розчину, збагаченого домішками, вольфрам осаджують у вигляді  $\text{CaWO}_4$  або  $\text{H}_2\text{WO}_4$  і повертають на попередні переділи.

Кристали паровольфрамат віджимають на фільтрах, потім на центрифугі, промивають холодною водою і сушать.

#### 1.4 Отримання вольфрамових порошків

Порошок вольфраму можна отримати відновленням його вищих оксидів воднем або вуглецем. Найбільшого поширення в промисловості отримав спосіб відновлення  $WO_3$  воднем, так як порошки, отримані відновленням триоксиду вольфраму через наявність карбідів, які обумовлюють крихкість металу, непридатні для виробництва пластичного металу.

Відновлення вольфрамового ангідриду воднем протікає в кілька стадій:



Відновлення  $WO_3$  проводять в багато трубних печах, трубчастих обертових печах або в багато трубних печах з трубами-муфелем прямокутного перетину з механізованим завантаженням і розвантаженням. Режим відновлення триоксиду вольфраму визначається вимогами до гранулометричного складу порошку в залежності від його призначення.

При виробництві вольфраму, що використовується для виготовлення дроту, відновлення ведуть в дві стадії: перша від  $WO_3$  до  $WO_2$ , друга - від  $WO_2$  до  $W$ . Кожну стадію проводять на окремих групах печей.

При виробництві вольфраму, що використовується для отримання твердих сплавів, відновлення  $WO_3$  може здійснюватися як одно стадійним, так і двох стадійним методами.

При двох стадійному методі першу низькотемпературну стадію здійснюють в трубчастих обертових печах при температурі 620-670°C для дрібнозернистих порошків і при температурі 720-750°C для крупнозернистих порошків. Другу високотемпературну стадію проводять в багато трубних муфельних печах при температурі 800-870°C для дрібнозернистих порошків і при температурі 800-900°C для крупнозернистих порошків.

При двох стадійному методі відновлення має місце більш висока продуктивність печей. Однак цей режим пов'язаний з необхідністю проводити додаткове завантаження і вивантаження порошку, що призводить до збільшення втрат. Тому спостерігається тенденція переходу на одно стадійне відновлення в печах з прямокутним муфелем або в трубчастих обертових печах.

Водень в піч подається з надлишком 20% від стехіометрично необхідної кількості. Виходить з печі водень збагачений парами води. Він надходить на регенераційні установки, де здійснюється його осушення. Осушений водень повертається в печі відновлення.

Основною домішкою в вольфрамових порошках є кисень, вміст якого становить 0,05-0,3%.

### 1.5 Метод гідростатичного пресування

Порошок металу поміщається в еластичну оболонку з гуми або полімерного матеріалу і піддається всебічному стисканню за допомогою рідини, яка подається під тиском в робочу камеру. Гідростатичне пресування забезпечує



отримання заготовки рівномірної щільності при тиску 200 МПа. Пористість заготовок становить близько 30-35%. Тому для пресування таких заготовок використовується метод гідростатичного пресування.

Для подальшого зміцнення штабиків вони піддаються спіканню. Спікання штабиків здійснюється в дві стадії: низькотемпературне спікання і високотемпературне спікання (зварювання). Низькотемпературне спікання проводять при температурі 1150-1300 °С в муфельних електropечках печак в атмосфері водню. У процесі спікання видаляється мастило. Водень дифундує в пори штабика і відновлює тонкі оксидні плівки, що роз'єднують частинки порошку. Це сприяє створенню чисто металевому контакту між частинками порошку і покращує процес спікання. Тривалість процесу низькотемпературного спікання в залежності від розмірів штабика і коливається від півгодини до трьох годин. В результаті отримують зміцнений штабик, хоча лінійна усадка штабика незначна і становить 2-3%. Однак після попереднього спікання штабики ще недостатньо міцні і володіють значною пористістю.

Остаточне зміцнення штабиків досягається високотемпературним спіканням (зварюванням). Зварюванням називають процес нагрівання штабика до температури, близької до температури плавлення вольфраму- 2900-3100 °С.

Для досягнення рівномірної щільності брикету в порошки вольфраму і молібдену перед пресуванням додають мастильні речовини - розчин гліцерину в спирті ( 1,5: 1). Мастило при пресуванні видавлюється до стінок, зменшуючи тертя частинок порошку об стінки.

Для пресування штабиків вольфраму і молібдену застосовують гідравлічні преси зусиллям 5-20 кН.

Питомий тиск пресування вольфрамових штабиків в залежності від гранулометричних характеристик порошку і розмірів штабика коливається від 150 до 500 МПа. При цьому одержувані штабики мають щільність 12 - 13 г/см<sup>3</sup>, що відповідає пористості 30 - 40%. Скоротити залишкову пористість вольфрамового

штабика не вдається, так як частинки на холоді не деформуються. Після того як в процесі пресування переміщення частинок припиняється, подальше підвищення тиску викликає "розшарування" штабика. Граничний тиск, вище якого починається розшарування, називається критичним і становить для вольфраму 400 – 600 МПа.

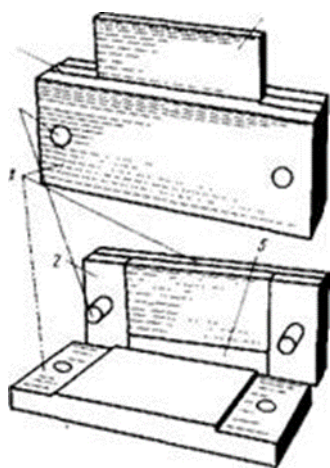


Рисунок 1.1 - Прес-форма для пресування штабиків вольфраму і молибдену з порошків: 1 - бічні пластини (щоки); 2 - торцеві вкладиші; 3 - пуансон; 4 - з'єднувальні шпильки; 5 - нижня підкладка.

Молибденові штабики пресують під тиском 200 - 300 МПа, залишкова пористість їх 35 - 40%. Штабики молибдену міцніше вольфрамових, що пояснюється більшою питомою поверхнею порошків молибдену і деякою пластичністю частинок молибдену.

Гідростатичне пресування для формування великих заготовок однорідної щільності масою 100 - 300 кг, які практично неможливо отримати пресуванням в сталевих прес-формах, використовують метод гідростатичного пресування.

Мішаний в еластичну оболонку (з гуми або іншого полімерного матеріалу), піддається всебічному стисканню за допомогою рідини, яка подається під тиском в робочу камеру (рис.1.2). При гідростатичному пресуванні немає тертя порошку об стінки прес-форми, що забезпечує рівномірну щільність спресованої заготовки. Гідростатичним пресуванням формують заготовки циліндричної або прямокутної форми, а також трубки і вироби більш складної форми. Потрібну геометричну форму отримують, розміщуючи еластичну оболонку в сталеві обойми (рис.1.3).

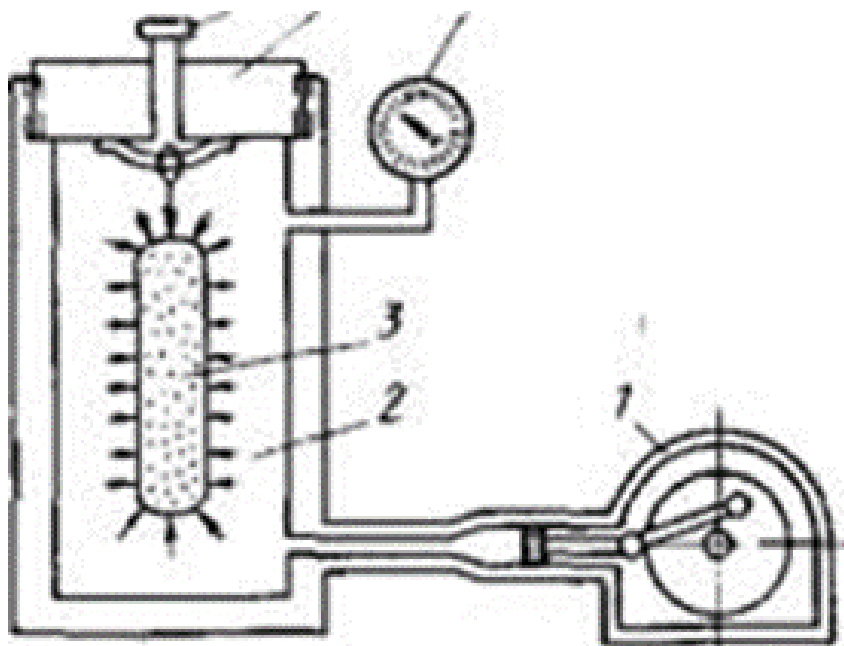


Рисунок 1.2 - Схема апарату для гідростатичного пресування: 1 - насос високого тиску; 2 - камера високого тиску; 3 - пресована заготовка в еластичній оболонці; 4 - вентиль для спускання тиску; 5 - затвор; 6 – манометр.

Гідростатичним пресуванням вольфрамових і молібденових порошків отримують заготовки з пористістю 30 - 35% при питомих тисках 200 - 250 МПа, масою до кількох сотень кілограмів.

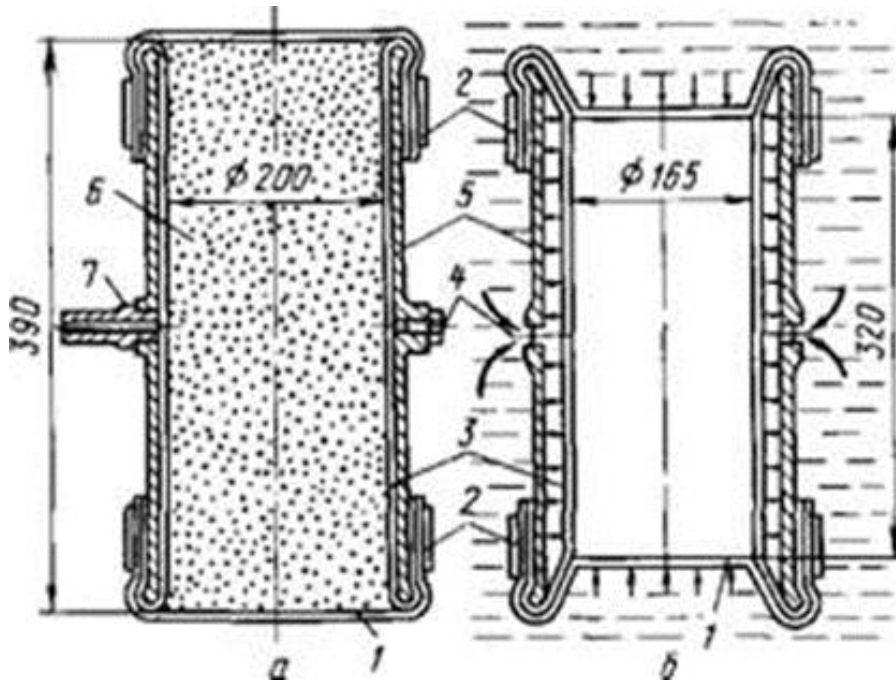


Рисунок 1.3 - Схематичний розріз прес-форми для гідростатичного пресування циліндричної заготовки:

а - заповнена прес-форма; б - форма після пресування; 1 - гумова кришка ("бере"); 2 - гумові манжети; 3 - гумова оболонка; 4 - пробка; 5 - металева обойма; б - пресований порошок; 7 – штуцер.

## 1.6 Плавка

Плавка використовується для отримання компактного вольфраму в вигляді великогабаритних заготовок (від 200 до 3000 кг), призначених для прокату, витяжки труб, виробництва виробів методом лиття. Здійснюється плавка в електричних дугових печах з витрачаються електродом або електронно-променевої плавки.

При дуговій плавці в якості електродів служать пакети спечених штапиків або спечені заготовки гідростатичного пресування. Плавка здійснюється в вакуумі або розрідженій атмосфері водню. В результаті виходять вольфрамові злитки. Злитки вольфраму мають крупнокристалічну структуру і підвищену крихкість, що викликано високим вмістом домішок.

Для зменшення вмісту домішок вольфрам спочатку плавлять в електронно-променевої печі. Але після цього типу плавки вольфрам також має крупнокристалічну структуру. Тому потім з метою зменшення розміру зерна отримані злитки піддають плавці в електричній дуговій печі, додаючи невеликі кількості карбідів цирконію або ніобію, а також легуючі елементи для додання спеціальних властивостей.

Для отримання дрібнозернистих злитків вольфраму, а також виготовлення деталей методом лиття застосовується дугова гарнісажна плавка з розливанням металу в ізложницю.

### 1.7 Спiкання великих заготовок

Спiкання великих заготовок ведуть в печах з непрямим нагрiванням. На рис. 2.6 показана схема вакуумної методичної печі для спiкання молібденових штабиків великого перерізу. Нагрiвачами служать графітові стрижні. Заготовки укладаються в графітові контейнери, які за допомогою механічного штовхальника проходять через камеру спiкання, а потім камеру охолодження. Спiкання ведуть при 1900 - 1950 ° С протягом 6 - 9 год.

Печі 0,13 Па. Контейнери з штабиками завантажують в піч і вивантажують з неї через шлюзи, які мають евакуйовані камери.

Для спікання великих заготовок масою 100 - 300 кг, отриманих гідростатичним пресуванням, використовують індукційні печі. Спікання молібденових заготовок ведуть у водні при 1700 - 1850 °С протягом 3 - 15 год (в залежності від температури і розміру заготовки). Великі вольфрамові заготовки спікають в індукційних печах при 2400 - 2500 °С і витримці (~ 20 год).

#### Задачі дослідження

- Провести теоретичні дослідження технології виготовлення штабиків з вольфрамових сплавів;
- оцінити вплив технологічних факторів на величину густини штабиків після спікання із сплаву ВР10Т2;
- за результатами експерименту провести обробку даних і отримати мат. модель, а також оцінити її адекватність.

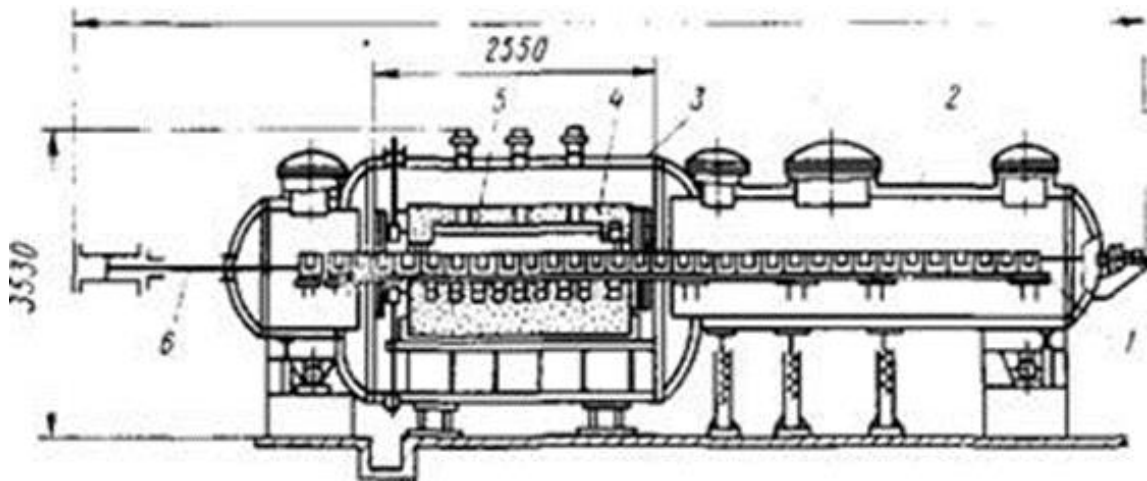


Рисунок 1.4 - Схема вакуумної печі безперервної дії для спікання молібденових заготовок:

1 - графітові контейнери; 2 - камера охолодження; 3 - камера спікання; 4 - теплоізоляція; 5 - графітові нагрівачі; 6 - штовхач з гідроциліндром.

## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Отримання компактного вольфраму

Отримання компактного вольфраму методом порошкової металургії є найбільш поширеним, оскільки дозволяє більш рівномірно розподіляти присадки, які надають вольфраму спеціальні властивості (жаростійкість, емісійні властивості та інші).

Процес отримання компактного вольфраму даними способом складається з декількох стадій:

1. пресування штабиків з металевого порошку;
2. низькотемпературне (попереднє) спікання заготовок;
3. спікання (зварювання) заготовок;
4. обробка заготовок з метою отримання напівфабрикатів - вольфрамових прутків, стрічки, вольфрамових прутків; зазвичай заготовки обробляють під тиском (куванням) або піддають механічній обробці різанням (наприклад, шліфування, полірування).

Для отримання ковкого вольфраму в вигляді дроту або жерсті використовують вольфрамовий порошок розміром 0,5-6,0 мкм при середній величині 2-3 мкм. Зміст домішок в порошок не повинен перевищувати 0,05%. Порошок пресують в сталевих прес-формах в штабики перетином 10x10x440 мм і довжиною 500-650 мм. В якості сполучного використовують розчин гліцерину в спирті. Залежно від гранулометричного складу порошку і розмірів штабика пресування здійснюють при тиску 150-500 МПа (1,5-5,0 т/см<sup>2</sup>). Отримані штабики мають густина 12-15 г/см<sup>3</sup>, що відповідає пористості 30-40%.

При кімнатній температурі штабики мають хорошу міцність, але при цьому дуже тендітні. Варто зауважити, що міцність і крихкість (протилежна властивість - пластичності) відносяться до різних груп властивостей. Міцність -

механічна властивість матеріалу, пластичність - технологічне. Пластичність визначає придатність матеріалу для кування. Якщо матеріал погано піддається куванню, то він є крихким. Для поліпшення пластичності вольфрамові штабіки піддаються куванню в нагрітому стані.

Однак, описаним вище способом можна виготовити великогабаритні заготовки великої маси, що є істотним обмеженням. Для отримання великогабаритних заготовок, маса яких досягає декількох сотень кілограм застосовують гідростатичне пресування. Даний метод дозволяє отримувати заготовки циліндричного і прямокутного перетину, труби та інші вироби складної форми. При цьому вони мають рівномірну щільність, не містять тріщин і інших дефектів. Хімічний склад сплаву ВР10Т2 наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сплаву ВР10Т2

| Марка сплаву | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | Mo    | ThO <sub>2</sub> | Re      |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------|------------------|---------|
| ВР10Т2       | 0,0014                         | 0,0017                         | 0,002            | 0,002 | 0,003 | 1,5-1,75         | 10-10,5 |

## 2.2 Спікання штабиків

В результаті процесу спікання (витримка спресованого брикету при певній температурі) досягається зміцнення брикету і його усадка (зменшення об'єму пор). Брикет набуває структуру, характерну для компактних металів. Однак на відміну від металу, отриманого плавленням, він все ж має значну залишкову пористість, яка зникає тільки після механічної обробки штабіка (кування, протягання).



Спикання вольфрамових і молібденових штапиків проводять в дві стадії: попереднє низькотемпературне спикання і високотемпературне спикання ("сварка").

Низькотемпературне спикання. Попереднє спикання вольфрамових штапиків ведуть при 1150 - 1300 °С і молібденових при 1100 - 1200 °С в муфельних електропечах в середовищі водню. Нагрівачем служить молібденовий дріт. Після витримки протягом 30 - 120 хв (в залежності від розмірів) отримують помітно зміцнені штабики, проте лінійна усадка їх незначна (2 - 3%). Спресовані штабики володіють відкритою пористістю. Водень дифундує в пори штабика і відновлює тонкі плівки оксидів. Це створює чисто металевий контакт між кристалами штабика і покращує умови спикання.

Високотемпературне спикання ("сварка"). Для отримання штапиків, що володіють структурою, найбільш сприятливою для подальшої механічної обробки, потрібно нагрів вольфрамового штапика приблизно до 2900 - 3000 °С, а молібденового - до 2200 - 2400 °С. Таку високу температуру найбільш просто отримати шляхом безпосереднього пропускання електричного струму через штапик, зміцнений попереднім першим спиканням.

На рис. 2.2 наведена схема апарату для високотемпературного спикання ("зварювання") штапиків.

Штабик закріплюється в охолоджуваному водою ковпаку між двома затискними контактами, що складаються з мідних, охолоджуваних водою головок, в які вмонтовані дві скріплені пружиною вольфрамові або молібденові пластини - щипці. Струм до контактів підводиться по охолоджуваним мідним трубам.

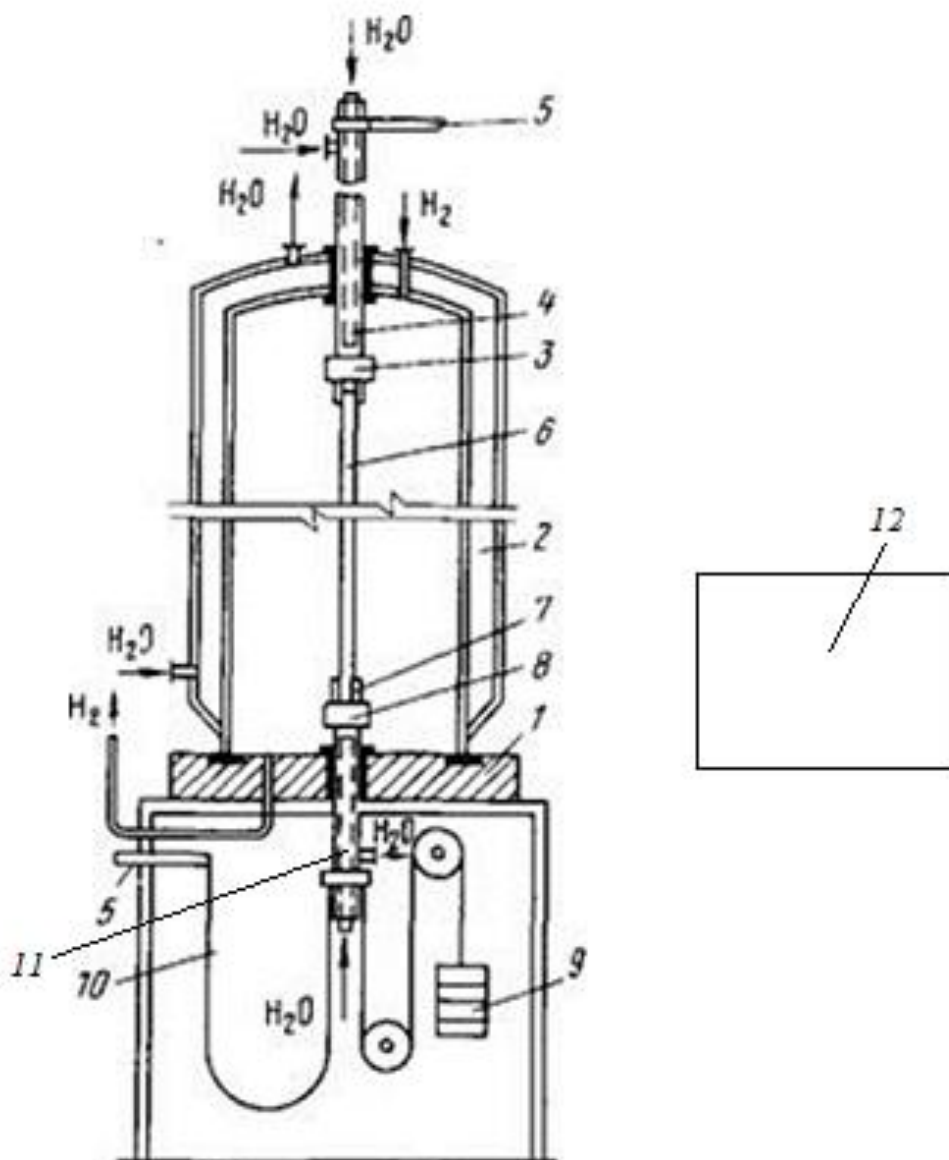


Рисунок 2.2 - Схема апарату для високотемпературного спікання ("зварювання") вольфрамових штабиків: 1 - сталева плита; 2 - охолоджуваний ковпак; 3 - верхній нерухомий контакт; 4 - струмопідвід; 5 - шина, що підводить струм; 6 - штабик що спікається; 7 - затискні щипці; 8 - нижній рухливий контакт; 9 - протизважель; 10 - гнучкий струмовідвід; 11- датчик зміщення захвату; 12 прилад, що реєструє усадку.

Нижній контакт повинен бути рухомих, так як в процесі спікання відбувається значна лінійна усадка штабиків (15 - 17%), тому до нижнього

контакту струм підводиться за допомогою гнучких шин. Натяг штабика забезпечується проти важелем.

Під ковпак в процесі спікання безперервно надходить сухий водень зі швидкістю 0,8 - 1,0 м<sup>3</sup>/год.

Оскільки електроопір штабиків невеликий, нагрів їх до високих температур вимагає значної сили струму при низькій напрузі. Для вольфрамових штабиків перетином 10x10 мм потрібна сила струму 2500 А, а для великих штабиків 10000 - 12000 А. Напруга на кінцях штабиків 10 - 20 В. Тому апарати для "зварювання" штабиків живляться від понижувального трансформатора, а плавне регулювання напруги здійснюється автотрансформатором, що підключається до високої сторони понижувального трансформатора.

Режим "зварювання" залежить від марки вольфраму. Так, штабики з чистого порошку вольфраму і з порошку з присадками оксидів торію, лантану і ітрію зварюють в одну стадію. За 12 - 15 хв силу струму збільшують що відповідає 2800 - 3000 °С (88 - 93% від сили струму переплавлення штапика), витримують штапик при максимальній силі струму 12 - 20 хв, після чого струм вимикають.

Після зварювання щільність вольфрамових штабиків досягає 17,5 - 18,5 г/см<sup>3</sup> (пористість 10 - 15%). Вони повинні мати однорідну дрібнозернисту структуру з числом зерен 12000 - 20000 зерен на 1 мм<sup>2</sup>. У зв'язку з дрібнозернистістю порошоків усадка штабиків відбувається швидко і завершується при 2200 - 2400 °С за 10 - 15 хв. Пористість спечених штабиків дорівнює 6 - 10%.

Механізм спікання.

Процеси, які відбуваються при спіканні (усадка, зростання часток) обумовлені підвищеною рухливістю атомів при температурах спікання. У атомів, розташованих на поверхні, на відміну від атомів, що розміщуються всередині кристала, не насичені силові поля, що створює надлишок енергії, який проявляється в поверхневому натягу, яка прагне скоротити вільну поверхню кристалів.

При температурах першого спікання (1150 - 1300 °С) поверхневі атоми мають достатню рухливість і мігрують з виступів до западин і місця контакту між частинками. Процес поверхневої міграції призводить до згладжування поверхонь, сфероїдизації пір і збільшення загальної поверхні контакту між частинками. Це пояснює зміцнення штабика після першого спікання.

Поверхнева міграція атомів, однак, не може привести до усадки спеченої заготовки, так як загальний обсяг пір залишається незмінним. Тому після першого спікання усадка незначна (2-3%).

Усадка штабика відбувається лише при високотемпературному спіканні в результаті об'ємної деформації кристалів в штабик, яка відбувається під дією сил поверхневого натягу, які прагнуть скоротити вільну поверхню спеченої заготовки. При температурах другого спікання ("зварювання"), близьких до точок плавлення вольфраму і молібдену (~ 90% від абсолютної температури плавлення), відбувається інтенсивна самодифузія атомів в об'ємі кристала по вакансіях решітки. Ця самодифузія під дією сил поверхневого натягу реалізується у вигляді дифузійної повзучості - спрямованого на перенесення маси речовини. В результаті матеріал "затікає" в пори, зменшуючи їх обсяг.

Одночасно з усадкою, коли досить збільшуються контактні ділянки, відбувається і рекристалізація (зростання зерен), що призводить до скорочення міжкристалічних кордонів.

Важливу роль у формуванні структури вольфрамових штабиків при спіканні і в регулюванні процесу рекристалізації вольфрамового дроту при його експлуатації грають домішки і присадки, що вводяться в вихідний триоксид вольфраму перед відновленням воднем.

Присадка  $\text{ThO}_2$  вводиться в  $\text{WO}_3$  в формі азотнокислої солей. В процесі високотемпературного спікання штабика присадка  $\text{ThO}_2$  не випаровується в процесі спікання. Розташовуючись по межах зерен, діоксид торію механічно

перешкоджає їх росту, забезпечує отримання штабика з дрібнозернистою структурою, а також затримує рекристалізацію при відпалі вольфрамової дроту.

### 2.3 Сварка вольфрам штабика

Вольфрам штабик затискається для зварювання між двома контактами. Після цього він проходить необхідне охолодження водою і через нього пропускають струм, який, нагріваючи, запускає в ньому процес плавлення. Струм подається найчастіше за допомогою трансформатора. Якщо ж це відбувається на великому виробництві, то найчастіше використовується генератор.

### 2.4 Ковка вольфрамових штабиків

Для кування використовують штабик, попередньо зварений. Обробка штабика не може проводитися при кімнатній температурі, так як даний метал дуже крихкий при такій температурі. Деформацію такого роду варто проводити при температурі близькій до 1300 градусів. Відбувається це на ротаційній кувальній машині, коли матеріал стає більш пластичним, піддається до обробки.

Існують різні сорти вольфраму, розрізняються вони розміром кристалів, що складають кристалічну структуру штабика. Також необхідно конкретно знати, з яким сортом цього матеріалу ви маєте справу, тому що більшість серйозних руйнувань відбувається при недостатній обробці штабика в цілому. Великі за розміром кристали в основному розташовуються на поверхні, а ось дрібні кристали утворюють структуру центру даного виробу. Через таку різницю в

розмірах при куванні з'являються тріщини, які після призведуть до руйнування виробів.

Щоб виключити подібні випадки найкраще використовувати штабики прямокутного виду, ніж квадратного. За рахунок проковки прямокутного виробу з двох сторін збільшується його міцність, а зі зменшенням діаметра збільшується довжина.

Після спікання вольфрамові і молібденові штабики на холоді тендітні. Однак в нагрітому стані (1300 - 1400 °С) штабики можна піддавати куванню, а потім волочінню або прокатці в листи. З ростом ступеня деформації пластичні властивості металів зростають, а температура обробки знижується.

Ковку штапиків квадратного перетину в круглі прутки, призначені для волочіння дроту, здійснюють на ротаційних кувальних машинах (рис. 2.3).

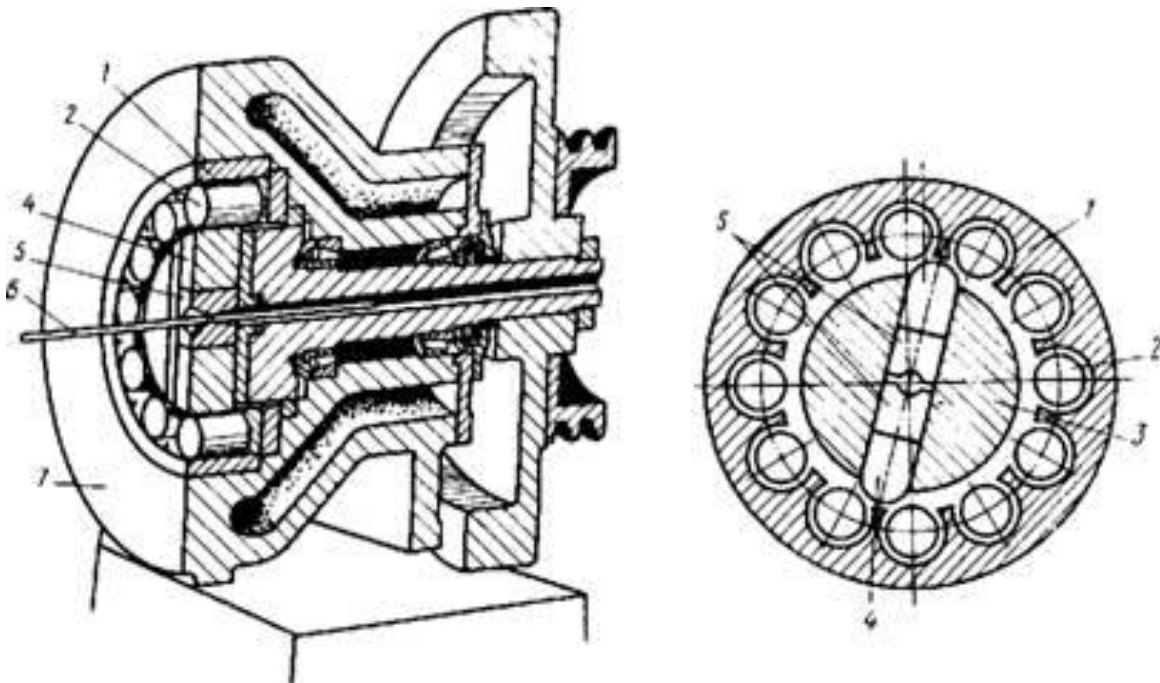


Рисунок 2.3 - Схема ротаційної кувальної машини:

1 - обійма; 2 - ролики; 3 - шпindel з каналом для прутка; 4 - повзуни; 5 - штапи; 6 - пруток; 7 – станина.

Принцип їх дії полягає в тому, що штабик, попередньо нагрітий в печі (в водневому середовищі), отримує велике число ударів (10000 - 12000 в 1 хв) від двох кувальних плашок, що обертаються з великою швидкістю навколо осі вольфрамового прутка і роблять зворотно - поступовий рух по діаметру в пазах обертового валу машини. Число ударів в 1 хв залежить від кількості роликів і числа оборотів шпинделя. Змінюючи діаметр плашок, отримують прутки діаметром 2 - 3 мм, які далі надходять на волочіння дроту в нагрітому стані спочатку на великих ланцюгових і блокових волочильних станах з застосуванням фільтер з твердих сплавів (від 2 до 0,5 мм), потім на машинах багаторазового середнього і найтоншого волочіння (від 0,5 до 0,01 мм). Для волочіння вольфрамового дроту тонше 0,3 мм застосовують алмазні філь'єри.

Температура волочіння вольфрамового дроту змінюється в міру зменшення діаметра дроту від 800 до 500 °С. У процесі кування і волочіння вихідна рівноважна структура заготовки перетворюється в "волокнисту", що складається з дрібних кристалів, орієнтованих уздовж осі обробки (рис. 2.4). На всьому протязі обробки тиском вольфрамовий прутки тільки один раз піддається відпалу вище температури рекристалізації. На всіх наступних щаблях кування і волочіння температура нагріву нижче температури рекристалізації, так як в рекристалізованому стані вольфрам крихкий.

Таким чином, без рекристалізуючих проміжних відпалів вольфрам витримує величезну сумарну деформацію з подовженням (і відповідно зі зменшенням перетину) до 100000 ~ 200000 раз, що без рекристалізуючих відпалів не допускає ні один метал.

Тонкий вольфрамовий дріт має високу міцність - понад 4 ГПа.

На відміну від вольфраму рекристалізуючий відпал обробленого молібдену не приводить до підвищення його крихкості. Тому в процесах обробки молібдену тиском використовують кілька рекристалізуючих відпалів. Велика

пластичність молібдену дозволяє проводити тонке волочіння дроту (а також прокатку тонкої стрічки) без нагріву.

Аналогічні принципи обробки спечених заготовок вольфраму і молібдену тиском з попереднім підгрівом покладені в основу плоского кування, прокатки в листи і стрічки.



А)



Б)

Рисунок 2.4 - Структура спеченого вольфрамового штабика (а) і кованого прутка (б).

Заготовки плавлених молібдену і вольфраму внаслідок великої зернистої структури важко піддаються деформації. Для подрібнення зерна такі заготовки піддають обробці екструзією з нагріванням (пресування заготовки через матрицю). При цьому методі схема напруженого стану (завдяки всебічному стиску) більш рівномірна, ніж при куванні. Молібденові заготовки перед екструзією нагрівають до 1400 - 1700 °С, вольфрамові до 1600 - 1900 °С. Для захисту від окислення нагріті заготовки екстрадують в металевих оболонках. Після екструзії метали стають більш пластичними, що дозволяє проводити їх оброблення з метою отримання листів, дроту та інших виробів.[3]



## 2.5 Особливості аналізу матеріалів

Металографічні дослідження - це система комплексних випробувань і аналізів над мікро- і макроструктурою металевих матеріалів. Металографічні дослідження проводять в рамках металографії, як одного з напрямків в металознавстві. Це класичний спосіб дослідження металів, який починається з підготовки зразків і закінчується висновком аналітичних результатів про структуру матеріалу.

Металографія - це ціла наука, яка є головною частиною сучасного металознавства. Вона вивчає не тільки структуру металів, але і взаємозв'язок фізичних, хімічних, механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей металевих сплавів в різних умовах. Металографія створює основу для отримання металевих сплавів з встановленими властивостями.

Від якості обладнання для металографічного дослідження залежить дуже багато чого, наприклад, на етапі пробопідготовки повторюваність властивостей матеріалів від проби до проби.

Компанія ТОВ «РВС» пропонує Вам величезний вибір найсучаснішого обладнання. З його допомогою Ви легко зможете проводити металографічний аналіз на всіх етапах дослідження.

Металографія грає важливу роль в таких галузях промисловості, як:

- Автомобілебудування;
- Металургія;
- Енергетика;
- Аерокосмічна промисловість;
- Атомна промисловість;
- Науково-дослідні та інші вишукувальні роботи в науково-дослідних центрах, лабораторіях, університетах.

Етапи металографії.

Отримати достовірні якісні та кількісні дані про досліджуваному зразку можна, попередньо провівши над ним ряд операцій:

1. Пробовідбір. Здійснюється вогневим автогенний способом і холодним на металорізальних верстатах.
2. Пробопідготовка - комплекс важливих заходів, які готують зразок металу для подальшого металографічного аналізу.
3. Проводить металографічний аналіз - розпізнавання структури металів, їх властивостей і визначення твердості.
4. Статистична обробка результатів.

Пробопідготовка в металографії, що включає в себе кілька етапів, підвищує точність одержуваних результатів. Головним завданням пробопідготовки є підготовка аналізованого речовини до подальшого дослідження. Завдяки пробопідготовці підвищується безпека дослідження, прискорюється процес тестування і знижується похибка підсумкових значень.

Етапи пробопідготовки в металографії:

- отримання мікрошліфа шляхом вирізки;
- отримання гладкої поверхні на токарному або фрейзерном верстаті;
- шліфування;
- полірування;
- аналіз поверхні шліфа до травлення;
- травлення.

Шліфування - це механічна обробка металевого зразка, при якій усуваються нерівності перед поліруванням. При шліфуванні згладжуються поверхні тендітних і твердих матеріалів.

Витратні матеріали для шліфування:

- твердий зернистий пісок. Чим менше зерна піску, тим менше ямки на поверхні шліфа;

- більш твердий наждак підходить для шліфування чорних і кольорових металів;
- корунд і карборунд підходить для шліфування загартованої сталі, бронзи;
- крокус або окис заліза використовують при шліфуванні латуні, цинку і алюмінію;
- полірувальна або віденська вапно - для м'яких металів і сплавів.

Сучасне лабораторне обладнання для грубої шліфовки повністю автоматизують цей процес. Програмовані планарні верстати дозволяють автоматизувати процес підготовки зразків з постійною якістю.

Полірування - це фініш механічної обробки матеріалів за допомогою дрібних абразивів. Основною суттю полірування є надання поверхні випробуваних зразків найменшої шорсткості і дзеркального блиску. Домогтися такого результату в даний час не складно, якщо при цьому у вас є полірувальні верстати. Можливо, також об'єднати шліфування та полірування, використовуючи при цьому шліфувально-полірувальні верстати від Metkon.

У металографії зазвичай після шліфування та полірування проводять травлення поверхні шліфа. Травлення відбувається шляхом підбору хімічних реактивів і подальшим їх впливом на заготівлю. Таким чином, керовано видаляють поверхневий шар матеріалу. Це потрібно для очищення від забруднень, від жирової плівки, окису тощо.

І вже після цих пройдених етапів пробопідготовки наступають етапи аналізу випробуваного матеріалу:

- мікроскопія;
- твердометрія.

Мікроскопія - процес розпізнання структури металу за допомогою оптичних світлових мікроскопів. Це найважливіші інструменти в металографії. Усі наступні аналізи мікроструктури зразків починаються саме з використанням мікроскопів з регулюючим збільшенням для більшої ефективності отриманих

результатів. Мікроскопи бувають моно-, біно- і тринокулярні. Всі сучасні світлові мікроскопи обладнані у відповідності з останніми технологічними тенденціями, що значно прискорює процес розпізнавання складу і структури матеріалу.

Твердометрія або вимірювання твердості металу - це процес розпізнавання фізичних властивостей металу. Дана процедура дає можливість розпізнати властивість матеріалу чинити опір проникненню в його склад іншого тіла, і, пов'язані з цим, можливі деформації.

Твердометрія здійснюється за методами Роквелла, Брінелля, Віккерса і Супер-Роквелла. Сучасне обладнання, запропоноване нашою компанією, дозволяє виміряти твердість металу за методом Віккерса.

Твердометрія за методом Віккерса відбувається в трішага:

- вдавнення чотиригранної алмазної пірамідки під дією навантаження;
- постійна підтримка прикладеного навантаження протягом якогось встановленого часу;
- вимір діагоналей відбитка, які залишилися на поверхні зразка після того, як прибрати навантаження.

При вимірюванні твердості металів використовують мікро і макротвердометри, що дозволяють тестувати різну структуру матеріалу, а також невеликі і дрібні металеві деталі, фольгу, тонкий дріт, зміцнені тонкі шари як металевих матеріалів, так і неметалевих: скло, дорогоцінні камені, кераміку.

### 3. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВЕЛИЧИНУ ГУСТИНИ ШТАБИКІВ ПІСЛЯ СПІКАННЯ ІЗ СПЛАВУ ВР10Т2.

#### 3.1 Вплив величини зерна на властивості штабиків

Дослідження мікроструктури штабиків після високотемпературного спікання (рис. 3.1– 3.2) показало, що штабики з крупних порошків мають зерна приблизно одного розміру, а в структурі штабиків з дрібних порошків маються окремі крупні зерна. Утворення подібних крупних зерен спостерігають автори роботи [10] при наявності в двухфазних сплавах крупних (величиною в декілька мкм) окисних часток.

Другою причиною з'явлення крупних зерен при високотемпературному спіканні штабиків може бути проходження процесу вторинної рекристалізації. Враховуючи те, що в штабиках з дрібших порошків частинки двоокису торію більш дисперсні, чим в штабиках з крупних порошків в данному випадку більш імовірна друга причина з'явлення крупних зерен. Ця пропозиція співпадає з думками авторів роботи [ 10] про те, що у випадку подібних вольфрамових сплавів рекристалізація часто відбувається шляхом росту окремих зерен по механізму вторинної рекристалізації і роботи про те, що структура матеріалів спечених з високодисперсних порошків відрізняються присутністю крупних зерен, які утворюються в процесі спікання.

Для початку ефективного росту вторинних зерен повинні бути присутні фактори, які будуть затримувати нормальний поступовий ріст зерен. Вторинну рекристалізацію може визвати певним чином розташована друга фаза. При цьому якщо ефект затримки частинами другої фази слабкий відбувається процес нормального росту зерен. Якщо вказаний ефект сильний, то ріст вторинних зерен гальмується.

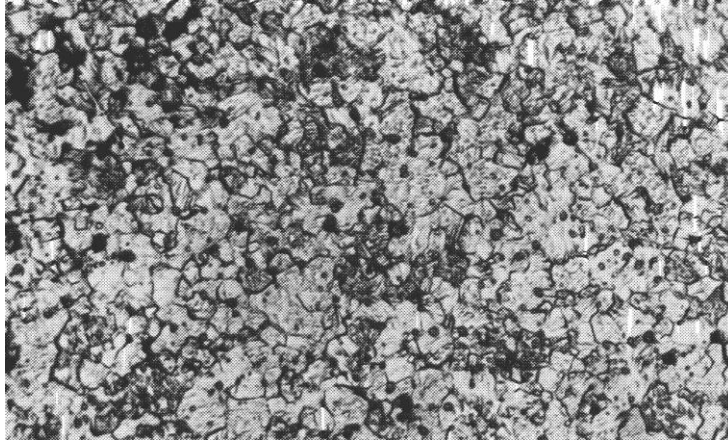


Рисунок 3.1 - Мікроструктура штабиків після високотемпературного спікання сплаву BP10T2 з крупних порошків,  $\times 800$

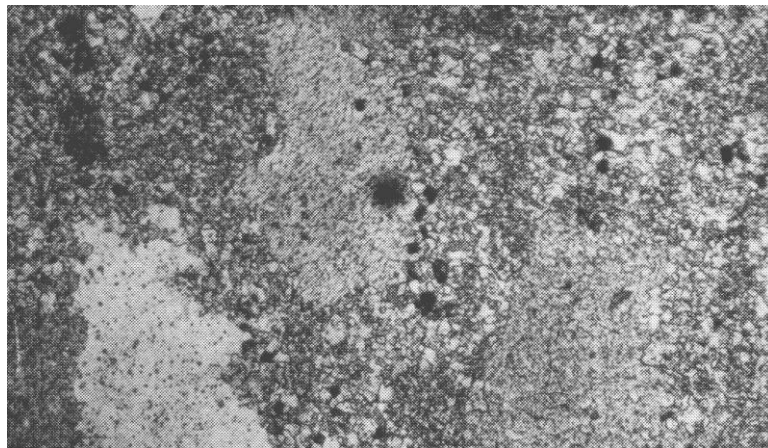


Рисунок 3.2 - Мікроструктура штабиків після високотемпературного спікання сплаву BP10T2 з дрібних порошків  $\times 400$

У випадку штабиків з дрібних порошків такими факторами, очевидно, є частинки двоокису торія та пори, при чому більш дрібні, чим частинки двоокису торію та пори в штабиках из крупних порошків. Очевидно, що ефект гальмування в штабиках з дрібних порошків більш сильний чим в штабиках з крупних порошків. В процесі спікання штабиків з дрібних порошків контури їх

окремих порошинок зникають при більш низких температурах, чим в штабіках з крупних порошоків. Оскільки кількість пор стає меншою, то і перешкод для росту зерен стає менше і при певній температурі, в штабіках з дрібних порошоків складються умови, коли ступінь проявлення ефекта гальмування як раз така, при якій можлива вторична рекристаллізація.

Відомо, що процес вторинної рекристаллізації може негативно впливати на щільність штабіків. Так в роботі [12] йдеться про те, що на повноту спекіння задовільно впливає повільний, постійний ріст зерен при якому пори періодично зустрічаються з рухаючимися границями зерен. В цьому випадку надлишкові вакансії від пор віддаляються, швидко диффундуючи уздовж границь. Згідно розрахункам десятикратне збільшення розмірів зерен при нормальному їх рості приводе приблизно до семикратного перетину кожної пори рухаючимися границями.

В цьому випадку пори, що знаходяться в середині таких зерен зустрічаються з границями один раз. При цьому вакансії диффундують через толщу зёрен набагатл повільніше, чим при нормальному рості зерен та спікання припускається [13]. Одною з причин більш низької густини штабіків з дрібних порошоків у порівнянні з густиною штабіків з крупних порошоків є саме протікання процесу вторинної рекристаллізації. У звязку з цим в процесі спікання штабіків з дрібних порошоків бажано запобігти вторинну рекристаллізацію.

Другою причиною більш низької густини штабіків з дрібних порошоків у порівнянні з густиною штабіків з крупних порошоків при спіканні в однакових умовах може бути більш ранне закриття пор у штабіків з дрібних порошоків [14], що може сприяти підвищеному вмісту газів та домішок в спеченому матеріалі.

Для більш повного видалення домішок та газів рекомендується [15] збільшувати час існування пор відкритими до більш високих температур, наприклад, зменшенням швидкості нагріву штабіків. Враховуючи вище наведені

міркування, провели дослідження впливу швидкості нагріву штабиків з дрібних порошків на їх структуру і густину.

Для цього збільшували силу току високотемпературного спікання з такою швидкістю, щоб усадка штабиків з дрібних порошків проходила медленіше, чим усадка штабиків з крупних порошків в попередньому експерименті (рис. 3.1 и 3.2). При цьому встановили, що для цих умов експерименту при зниженій швидкості нагріву штабиків з дрібних порошків кількість крупних зерен в їх структурі знижується і при підвищенні сили току високотемпературного спікання зі швидкістю  $0,67 \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$  в структурі штабиків крупних зерен майже не спостерігається.

Результати дослідів впливу швидкості нагріву штабиків з мелких порошків на їх щільність приведені на рис 3.3. Як видно з рисунка вказані залежності мають вид кривих с максимумами. При чому зі зменшенням вмісту двоокису торія максимум густини штабиків зміщується в сторону зменшення швидкості нагріву, а значення щільності штабиків з дрібних порошків майже такі ж як і значення щільності штабиків з крупних порошків.

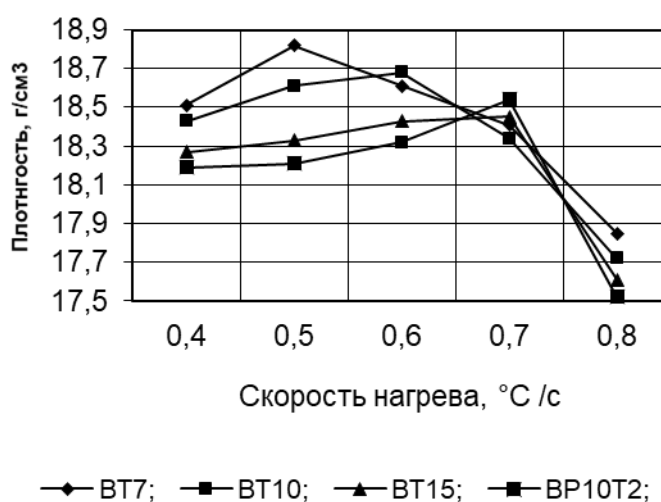


Рисунок 3.3 Залежність щільності штабиків від швидкості нагріву після високотемпературного спікання



Отже, підбираючи швидкість нагріву при високотемпературному спіканні можна зменшити схильність до вторичної рекристалізації та отримати штабіки з дрібних порошоків з характерними для них дрібнодисперсними частинками двоокису торія з такою ж приблизно густиною, що і штабіки з крупних порошоків, але маючи більш крупні частинки двоокису торію. При цьому слід відмітити, що в реальному виробництві забезпечити постійність гранулометричного складу вольфрамкових порошоків при їх отриманні важку, оскільки на цю характеристику впливає багато факторів. Тому має сенс для кожної конкретної партії порошоків не тільки підібрати гранулометричний склад, але і визначити оптимальну швидкість нагріву при високотемпературному спіканні.

З тим, щоб досліджувати вище зазначену проблему в рамках технологічних можливостей порошкової металургії виготовили торійований вольфраморенієвий сплав ВР10Т2, на заводі «Переможе» (Північна Осетія РФ).

Штабіки пресували з великих і дрібних порошоків. Розмір порошоків визначали абсорбційним методом. При температурі 500 ° С, а дрібні - при температурі 700 ° С. Відновлення отриманого вольфрамового ангідриду прослуховується по двостадійна режиму. Природно, це вимагає технологій оптимізації виготовлення виробів. Експериментальні значення цих технологічних параметрів, як зусилля пресування, температури спікання штабиків і відпалу прутків служили змінними факторами.

Вихідним параметром був показник виходу годного, який визначається як відношення ваги отриманих дротів, проволочених до діаметра 1,3 мм, до ваги спечених штабиків.

Для пояснення результатів, даного дослідно-промислового експерименту, крім показника вилучення, досліджували мікроструктуру штабиків і прутків. Пластичність матеріалу при звичайних температурах визначали, вимірюючи кут закручування зразків, виготовлених з прутків. Дисперсність частинок двоокису

торію оцінювали з використанням мікрорентгеноспектрального аналізатора MS-46. При цьому, з огляду на, що частинки двоокису торію мають розмір менше діаметра зонда, про їх величиною судили по висоті піків інтенсивності випромінювання (вважали, що чим вище пік на діаграмі, тим крупніше частинка).

При деформації прутків до діаметра 2,5 мм у всіх експериментах витяг було приблизно однакове. Результати, отримані при подальшому переділі, наведені в табл. 3.1.

Характерною особливістю мікроструктури прутків, отриманих за умовами різних дослідів, є наявність великих зерен, кількість яких визначається дисперсністю частинок двоокису торію, температурою відпалу і з кількістю яких добре корелює значення кута закручування .

Таблиця 3.1 Залежність структури, властивостей і показника вилучення (певного при контролі дроту продеформірованої до діаметра 1,3 мм) від технології отримання прутків діаметром 2,5 мм

| № дослідів | Эквивалентный диаметр порошка, мкм | Приведенная температура отжига, (доли от температуры плавления) | Характеристика частичек двуокиси тория | Угол закручивания, ° | Количество крупных зёрен, % | Извлечение, % |
|------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1          | 6,7                                | 0,95                                                            | крупные                                | 2 – 3                | 100                         | 0             |
| 2          | 6,5                                | 0,85                                                            | -“-                                    | 13 – 50              | 70                          | 71            |
| 3          | 1,8                                | 0,95                                                            | мелкие                                 | 299                  | 20                          | 49            |
| 4          | 1,7                                | 0,85                                                            | -“-                                    | 362                  | 5                           | 26            |

При цьому можна відзначити, що прутки (табл. 3.1, дослід 1), структура яких складається тільки з великих зерен (рис. 3.4 а), мають кут закручування 2 - 3 °. При звичайних температурах вони є крихкими і щойно досягають довжини, при

якій процес ротаційного кування з одночасним нагріванням всього прутка замінюють ротаційної куванням з місцевим нагріванням, часто ламаються.

При зменшенні кількості великих зерен у структурі стрижнів (рис 3,4 б) їх кут нахилу збільшується до 13-50 градусів (табл. 3.1, дослід 2) і, швидше за все, ця пластичність дозволяє уникнути крихких руйнувань заготовок деформації з використання місцевого опалення. Однак, за відсутності можливості рекристалізація тортів (через крихкість цього сплаву), процес перетягування неминуче супроводжується збільшенням довжини кристалізаторів, що є. У той же час, для того, щоб механізм підвищення пластичності, описаний в роботі, необхідно знизити міцність їх з'єднання, що зазвичай збільшує схильність дроту до розгону. Підтвердженням цього може стати фабричний стаж, згідно з яким найчастіше більш схильні до роздилення дроту і більше пластику при нормальній температурі. Тому для того, щоб одночасно зменшити схильність дроту розігнати і використовувати вищезазначений механізм для збільшення пластичності, його структура повинна складатися з відносно коротких кристалітів. Очевидно, что более короткие кристаллы в структуре дрота можна отримати шляхом кування і перетягування дрібнозернистого матеріалу.

Структури (з мінімальною кількістю великих зерен) (рис. 3.3 в, г), легко виходить за рахунок збільшення варіативності торію частинок двоокису і зниження температури ОПК (таблиця 3.1, експерименти 3 і 4). У той же час кут зтягування стрижнів збільшується до значень, що перевищують 290 градусів. Однак, коли дріт зтягується з дрібнозернистого матеріалу, перерви відбуваються з меншими компресій, ніж у проводів з великого кристалічного матеріалу (ймовірно, через швидку сканування дрібних кристалевих матеріалів).

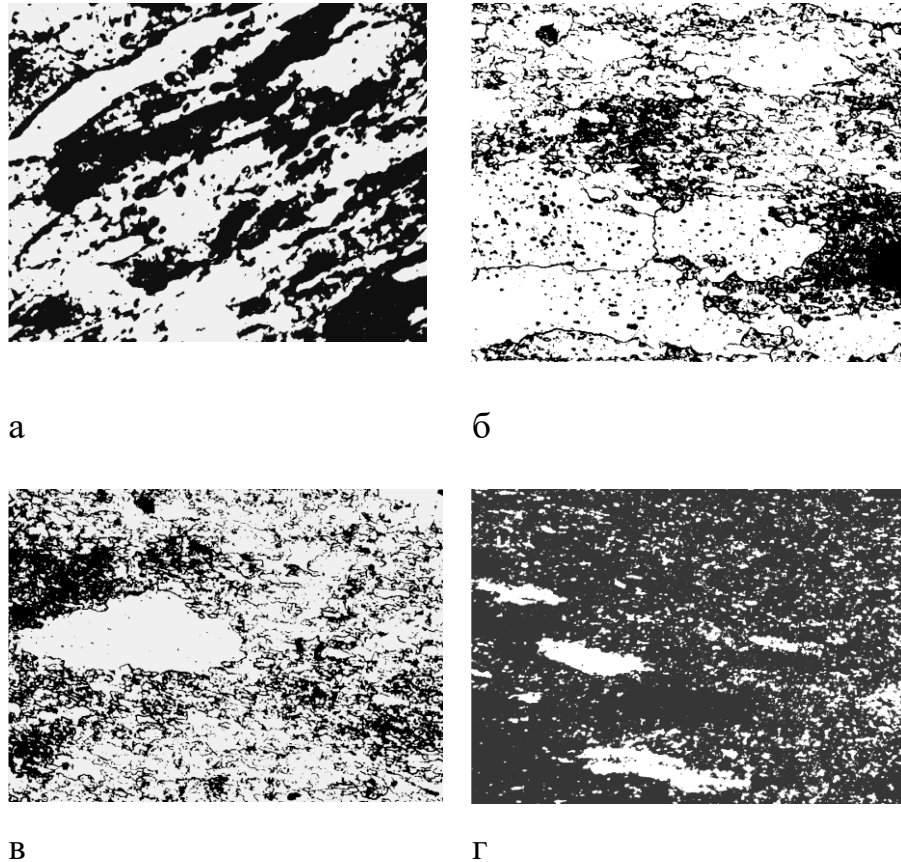


Рисунок 3.4 Микроструктура дроту діаметром 2,5 мм,  $\times 400$ ;

а – дослід 1, б – дослід 2, в – дослід 3, г – дослід 4

У той же час у нас є ситуація, коли з одного боку, чим більше великих зерен присутні в структурі стрижнів, тим більше деформації вони можуть бути оброблені без проведення проміжного опіку. З іншого боку, з-за неможливості перерізування дощерів через їх дії фрутінг, великі зерна витягуються під час перетягування і збільшують пластичність необхідно зменшити міцність кристалічного з'єднання між , що збільшує схильність до розшарування.

Для перевірки цих припущень дві партії стрижнів з великою кількістю великих зерен і мінімальна кількість великих зерен в структурі були зроблені в умовах, що відповідають експериментах 2 і 4 відповідно. Коли дрiт тягнули в обидві партії, метал додатково піддається вигоряння (при діаметрі 1,6 мм), режим

якого був обраний експериментальним способом на найвищу пластичності матеріалу. Отриману дрiт контролювалися для розшарування, яка виявила, що коефіцієнт у досліді 2 був 0,7, у досвіді 4-0,2, а коефіцієнт видобутку був приблизно однаковим (у досліді 2-70%, а дослід 4-68%).

Таким чином, результати показують, що стрижні з великою кристалічної структурою (крихкими при нормальній температурі) бажано деформуватися тільки з підігрівом їх по всій довжині вище температури переходу в крихкий стан. Після останнього технологічного рекристалізації запалювання для зменшення схильності дроту до розшарування, бажано мати в стрижнів невелику кристалічної структури, а також їх нагард, який виникає під час деформації, зменшити як необхідно вводити в технологію перетягування дористнення.

Дослідження мікроструктури проводів з VT15 сплаву проводилося на електронному мікроскоп Рем 106I виробництва "СЕЛМІ" в відбитих електронах при прискоренні напруги 20 кВ з збільшенням до 10000. Сд. 9,8 мм до 10,1 мм.

При дослідженні структури дроту було встановлено, що існують і дрібні частинки розміром менше 100 Нм (наночастинок) і великі поперечні частинки більш ніж 500 Нм (рис. 3.5).

Як видно з вищесказаного, великі частинки  $\text{ThO}_2$ , при деформаційній перебудові простягнулися по осі дроту і розриваються з утворенням додаткових пор в структурі матеріалу.

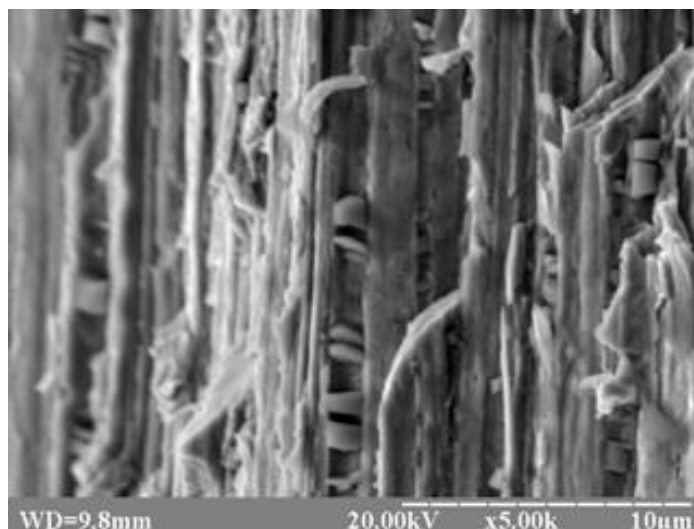


Рисунок 3.5– Структура сплаву ВР10Т2

Така тенденція зберігається для частинок з розмірами від 200 нм і крупніше (до 1,5 мкм). Частинки розміром менше 200 нм тільки витягуються уздовж осі проволоки, не створюючи пор і, верогідно, не сприяють расслою. Аналогічно діють і пори майже завжди присутні в спечених порошкових матеріалах.

Таким чином зменшення кількості пор і частинок крупніше 200 нм в матеріалі повинно знизити його схильність до розшарування. З метою досліджування такої можливості проводимі данні досліді.

Мікроструктуру зразків виявляли в реактиві Мураками і досліджували за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8 при збільшенні від 100 до 1000 і за допомогою електронного мікроскопа УМВ-1000 при збільшенні 1000-30000. За допомогою електронного мікроскопа досліджували репліки і фольги. Вугільні репліки відокремлювали в реактиве Мураками при напрузі 5 вольт. Для виготовлення фольги, від зразків відокремлювали шайби товщиною 1 мм, потім їх стоншує механічно, зі шліфуванням на абразивному папері, що складається з 95 мл сірчаної кислоти і 5 мл спирту. Густина струму при становила 1,4 ... 1,7 а / см<sup>2</sup>. Після уточнення фольги промивали у воді і метанолі.

Злами дротів досліджували методом електронно-оптичної фрактографії за допомогою растрового електронного мікроскопа, при збільшенні 500-5000. Досліджували характер сколів, отриманих в умовах кімнатної температури.

### 3.2 Теоретичне обґрунтування застосування методу планування експерименту.

Планування експерименту, як будь-який інший розділ науки, має свою термінологію. Для зручності розуміння розглянемо найбільш загальні терміни.

Експеримент – цілеспрямований вплив на об'єкт дослідження з метою отримання достовірної інформації. Більшість наукових досліджень пов'язано з експериментом. Його проводять на виробництві, в лабораторіях, на дослідних полях і ділянках, в клініках і т.д. Експеримент може бути фізичним, психологічним або модельним.

Планування експерименту – це процедура вибору кількості й умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю. При цьому істотне наступне:

- прагнення до мінімізації загальної кількості дослідів;
- одночасне варіювання всіх змінних, що визначають процес, за спеціальними правилами – алгоритмами;
- використання математичного апарату, який формалізує дії експериментатора;
- вибір чіткої стратегії, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів.

Завдання, для вирішення яких можна використовувати планування експерименту, надзвичайно різноманітні. До них відносяться: пошук оптимальних

умов, побудова інтерполяційних формул, вибір істотних чинників, оцінка та уточнення констант теоретичних моделей, вибір з деякої кількості найбільш прийнятних гіпотез про механізми явищ, дослідження діаграм склад – властивості тощо.

Пошук оптимальних умов – одне з найбільш поширених науково-технічних завдань. Воно виникає в той момент, коли встановлена можливість проведення процесу й необхідно знайти найкращі (оптимальні) умови його реалізації. Таке завдання називають завданням оптимізації. Процес його вирішення називається процесом оптимізації або просто оптимізацією. Далі слідує поняття – об'єкт дослідження. Для його опису зручно користуватися уявленням про кібернетичну систему.

Іноді таку схему називають «чорним ящиком». Стрілки праворуч зображують чисельні характеристики цілей дослідження. Ми їх позначаємо буквою ігрек ( $y$ ) і називаємо параметрами оптимізації. У літературі зустрічаються інші назви: критерій оптимізації, цільова функція, вихід «чорного ящика» і т.д.

Для проведення експерименту необхідно мати можливість впливати на наведення «чорного ящика». Всі способи такого впливу ми позначаємо буквою ікс ( $x$ ) і називаємо факторами. Їх називають також входами «чорного ящика».

Безліч зовнішніх і внутрішніх параметрів моделі, значення яких дослідник може контролювати в ході підготовки й проведення експерименту називається факторним простором.

При вирішенні задачі використовують математичні моделі дослідження, під якими розуміють рівняння, що зв'язує параметр оптимізації з чинниками. Це рівняння в загальному вигляді можна записати наступним чином:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$



де вираз  $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , як зазвичай в математиці, замінює слова: «функція від». Така функція називається функцією відгуку.

Кожен фактор може приймати в досліді одне з декількох значень. Ці значення називаються рівнями. Для полегшення побудови «чорного ящика» і експерименту фактор повинен мати певну кількість дискретних рівнів. Фіксований набір рівнів факторів визначає одне з можливих станів «чорного ящика» або умову проведення одного з можливих дослідів. Якщо всі можливі набори станів, то виходить безліч різних станів «чорного ящика» або можливих різних дослідів.

Кількість можливих дослідів визначають за виразом:

$$N = p_k,$$

де  $N$  – кількість дослідів,

$p$  – число рівнів,

$k$  – число факторів.

Таким чином, планування екстремального експерименту – це метод вибору кількості й умов проведення дослідів, мінімально необхідних для відшукування оптимальних умов, тобто для вирішення поставленого завдання. А саме, перш ніж приступати до експерименту, необхідно однозначно сформулювати його мету і вибрати відповідну кількісну характеристику цієї мети, яку ми назвали параметром оптимізації. Результати експерименту використовують для отримання математичної моделі об'єкта дослідження, яка представляє собою рівняння, що зв'язує параметр оптимізації та фактори. Таке рівняння називається функцією відгуку.

Використання для одержання моделі всіх можливих дослідів призводить до абсурдно великих експериментів. Завдання вибору необхідних для експерименту

дослідів, методів математичної обробки їх результатів і прийняття рішень – це і є завдання планування експерименту.

### 3.3 Теоретичний аналіз технології виготовлення штабиків

В даний час теоретичний опис процесу спікання не дає рішень з точністю, необхідною для розробки промислової технології. Відомі залежності, як правило, відображають вплив однієї змінної при стабілізованих значеннях інших, які суттєво впливають на вибраний вихідний параметр. У разі зміни (випадкового або цілеспрямованого) значення одного зі стабілізованих факторів змінюється і форма залежності. Тому, вивчення впливу багатьох факторів на структуру і властивості одержуваних матеріалів шляхом проведення однофакторних експериментів часто недостатньо. У зв'язку з цим, щоб оцінити ступінь впливу вибраних технологічних параметрів на густину отримуюмого матеріалу і виявити ті що впливають суттєво здійснили дослідження з застосуванням методу планування експериментів.

Для встановлення кількісного зв'язку між параметром оптимізації і змінними факторами використовували метод планування експерименту. Параметром оптимізації служила густина спечених штабиків. Як змінні фактори були обрані наступні: швидкість нагрівання штабиків при спіканні –  $x_1$ ; температура спікання –  $x_2$ ; тривалість витримки –  $x_3$ . Оскільки інтервали варіювання факторів цікавили досить широкі і експеримент бажано було провести на одній партії штабиків зразу планували отримати математичну модель другого ступеню. Тому для проведення експерименту була обрана матриця некомпозиційного плану другого порядку для трьох факторів ( $3^3$ ). [10].

В роботі була поставлена задача: оцінити вплив технологічних факторів на величину густини штабиків після спікання із сплаву ВР10Т2.

Задача вирішувалась знаходженням функції відгуку, для отримання якої проведено експериментальне дослідження. Умови проведення експерименту наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Умови дослідження впливу технологічних параметрів на густину спечених штабиків

| Фактори                                                                                     | Інтервал варіювання | Рівні факторів |          |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|----------|---------|
|                                                                                             |                     | Нижній         | Середній | Верхній |
| $X_1$ – швидкість нагрівання штабиків від температури 1600 °С до температури спікання, °С/с | 0,2                 | 0,8            | 1        | 1,2     |
| $X_2$ – температура спікання, °С                                                            | 60                  | 2490           | 2550     | 2610    |
| $X_3$ – тривалість витримки при спіканні, с                                                 | 320                 | 580            | 900      | 1220    |

Примітка нагрівання до температури 1600 °С здійснювали зі швидкістю 10 °С/с.

За наведеними умовами був реалізований експеримент  $3^3$  матриця і результати якого наведено в табл. 3.3.

За результатами дослідів, проведених відповідно до матриці планування (табл. 3.3), отримана модель, що характеризує залежність параметра, а саме, густини від досліджуваних факторів процесу спікання. Ця модель представлена поліномом другого ступеня.

Таблиця 3.3 – Матриця планування в кодovаних величинах та результати дослідів

| Номер дослідy | $x_0$ | $B^{x_1}$ | $C^{x_2}$ | $D^{x_3}$ | Густина штабиків, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |
|---------------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------------------|
| 1             | 1     | +         | +         | 0         | 18060                                        |
| 2             | 1     | +         | -         | 0         | 17929                                        |
| 3             | 1     | -         | +         | 0         | 17910                                        |
| 4             | 1     | -         | -         | 0         | 17728                                        |
| 5             | 1     | 0         | 0         | 0         | 18020                                        |
| 6             | 1     | +         | 0         | +         | 18050                                        |
| 7             | 1     | +         | 0         | -         | 17942                                        |
| 8             | 1     | -         | 0         | +         | 17900                                        |
| 9             | 1     | -         | 0         | -         | 17739                                        |
| 10            | 1     | 0         | 0         | 0         | 18040                                        |
| 11            | 1     | 0         | +         | +         | 18050                                        |
| 12            | 1     | 0         | +         | -         | 17946                                        |
| 13            | 1     | 0         | -         | +         | 17909                                        |
| 14            | 1     | 0         | -         | -         | 17748                                        |
| 15            | 1     | 0         | 0         | 0         | 18030                                        |

Коефіцієнти моделі розраховують за допомогою метода найменших квадратів за формулами, які для трьох факторів мають вигляд:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}; \quad b_i = A \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j; \quad b_{il} = D \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} y_j; \quad (3.2)$$

$$b_{ii} = B \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j + C \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{pn_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (3.3)$$

де  $n_0$  - число дослідів в центрі плану;

$u$  - номер паралельного досліду в центрі плану;

$y_{0u}$  - значення функції відгуку в  $u$ -ому досліді;

$N$  - число дослідів в матриці планування;

$j$  - номер досліду в матриці планування;

$i, l$  - номер факторів;

$x_{ij}$  і  $x_{lj}$  - кодування значень  $i$ -ого і  $l$ -ого факторів в  $j$ -ому досліді;

$y_j$  - значення функції відгуку в  $j$ -ому досліді;

$k$  - число факторів;

$A, B, C, D, p$  - константи, що залежать від числа факторів.

Розрахункові данні наведено в табл.3.4 та 3.5

Дисперсію  $S_y^2$  відтворюваності експерименту визначали за результатами дослідів в центрі плану, використовуючи формулу:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1} = 100,$$

де  $\bar{y}_0$  - середнє арифметичне значення функції відгуку, отримане за результатами  $n_0$  дослідів в центрі плану.

Таблиця 3.4 – Допоміжні розрахункові дані

|       | $x_1 \cdot y$ | $x_2 \cdot y$ | $x_3 \cdot y$ | $x_1 \cdot x_2 \cdot y$ | $x_1 \cdot x_3 \cdot y$ | $x_2 \cdot x_3 \cdot y$ | $x_1^2 \cdot y$ | $x_2^2 \cdot y$ | $x_3^2 \cdot y$ |
|-------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 18110         | 18110         | 0             | 18110                   | 0                       | 0                       | 18110           | 18110           | 0               |
| 2     | 17929         | -17929        | 0             | -17929                  | 0                       | 0                       | 17929           | 17929           | 0               |
| 3     | -17910        | 17910         | 0             | -17910                  | 0                       | 0                       | 17910           | 17910           | 0               |
| 4     | -17728        | -17728        | 0             | 17728                   | 0                       | 0                       | 17728           | 17728           | 0               |
| 5     | 0             | 0             | 0             | 0                       | 18100                   | 0                       | 0               | 0               | 0               |
| 6     | 18100         | 0             | 18100         | 0                       | -17942                  | 0                       | 18100           | 0               | 18100           |
| 7     | 17942         | 0             | -17942        | 0                       | -17900                  | 0                       | 17942           | 0               | 17942           |
| 8     | -17900        | 0             | 17900         | 0                       | 17739                   | 0                       | 17900           | 0               | 17900           |
| 9     | -17739        | 0             | -17739        | 0                       | 0                       | 0                       | 17739           | 0               | 17739           |
| 10    | 0             | 0             | 0             | 0                       | 0                       | 0                       | 0               | 0               | 0               |
| 11    | 0             | 18100         | 18100         | 0                       | 0                       | 18100                   | 0               | 18100           | 18100           |
| 12    | 0             | 17946         | -17946        | 0                       | 0                       | -17946                  | 0               | 17946           | 17946           |
| 13    | 0             | -17909        | 17909         | 0                       | 0                       | -17909                  | 0               | 17909           | 17909           |
| 14    | 0             | -17748        | -17748        | 0                       | 0                       | 17748                   | 0               | 17748           | 17748           |
| 15    | 0             | 0             | 0             | 0                       | 0                       | 0                       | 0               | 0               | 0               |
| Сумма | 804           | 752           | 634           | -1                      | -3                      | -7                      | 143358          | 143380          | 143384          |

Таблиця 3.5 – Розрахункові значення коефіцієнтів моделей

| $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_{12}$ | $b_{13}$ | $b_{23}$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ | $b_{33}$ |
|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 100,5 | 94    | 79,25 | 0,25     | -0,75    | -1,75    | -58,125  | -52,625  | -51,625  |

Дисперсії коефіцієнтів регресії  $S^2\{b_0\}$ ,  $S^2\{b_i\}$ ,  $S^2\{b_{ii}\}$ ,  $S^2\{b_{ij}\}$  для трьох факторів визначають за формулами:

$$S^2\{b_0\} = \frac{1}{n_0} S_y^2 = (1/3) \cdot 100 = 33 ;$$

$$S^2\{b_i\} = AS_y^2 = (1/8) \cdot 100 = 12,5;$$

$$S^2\{b_{ii}\} = DS_y^2 = (1/4) \cdot 100 = 25;$$

$$S^2\{b_{.i}\} = B_1 S_y^2 = (13/48) \cdot 100 = 27,08.$$

де  $S_y^2$  дисперсія відтворюваності експерименту;

$B_1$  - константа, що залежить від числа факторів.

Значення констант  $A$ ,  $B$ ,  $B_1$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $p$  і  $n_0$  для трьох факторів наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 Значення констант в формулах для обчислення коефіцієнтів регресій і дисперсій

| Число факторів | $A$  | $B$  | $B_1$ | $C$    | $D$ | $p$ | $n_0$ |
|----------------|------|------|-------|--------|-----|-----|-------|
| 3              | 1/8  | 1/4  | 13/48 | -1/16  | 1/4 | 2   | 3     |
| 4              | 1/12 | 1/8  | 3/16  | -1/48  | 1/4 | 2   | 3     |
| 5              | 1/16 | 1/12 | 11/96 | -1/96  | 1/4 | 2   | 6     |
| 7              | 1/24 | 1/16 | 4/54  | -1/144 | 1/8 | 3   | 6     |

Довірчий інтервал  $\Delta b_0$  коефіцієнта  $b_0$  знаходимо за виразом:

$$\Delta b_0 = \pm t_7 S\{b_0\} = \pm 5,7 \cdot 4,3 = \pm 24,7.$$

При числі ступенів свободи, рівному 2 і 95 %-ому рівні значимості  $t = 4,3$ :

$$S\{b_0\} = \sqrt{S^2\{b_0\}} = \sqrt{33} = 5,7.$$

Аналогічно визначаємо довірчі інтервали коефіцієнтів  $b_i$ ,  $b_{ii}$ ,  $b_{.i}$ :

$$\Delta b_i = \pm t_T S\{b_i\} = \pm 4.3 \cdot \sqrt{12,5} = \pm 15,2;$$

$$\Delta b_{il} = \pm t_T S\{b_{il}\} = \pm 4.3 \cdot \sqrt{25} = \pm 21,5;$$

$$\Delta b_{ii} = \pm t_T S\{b_{ii}\} = \pm 4.3 \cdot \sqrt{27,08} = \pm 22,37.$$

Коефіцієнти  $b_4$ ,  $b_{12}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{34}$ ,  $b_{11}$ ,  $b_{22}$  менше довірчого інтервалу, тому їх можна визнати статистично незначущими і виключити з рівняння регресії. Після виключення коефіцієнтів рівняння регресії для  $y_z$  одержує вид:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 - b_{11} \cdot x_1^2 - b_{22} \cdot x_2^2 - b_{33} \cdot x_3^2$$

Після підстановки значень суми система приймає вигляд:

$$Y = 18030 + 100,5 \cdot x_1 + 94 \cdot x_2 + 79,25 \cdot x_3 - 58,125 \cdot x_1^2 - 52,625 \cdot x_2^2 - 51,625 \cdot x_3^2$$

Розрахункове значення рівняння регресії наведено в табл.3.5

Адекватність отриманої моделі перевіряємо по  $F$  - критерію. Для обчислення дисперсії  $S_{ad}^2$  адекватності знаходимо суму  $S_R$  квадратів відхилень розрахункових значень  $\overline{y_z}$  від експериментальних  $y_z$  в усіх точках плану (табл. 3.7).

Знаходимо дисперсію:

$$S_R = \sum (y_z - \overline{y_z})^2 = 301,75;$$

$$S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)} = 301,75/8 = 37,5.$$



Розрахункове значення  $F$  критерію:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{y_z\}} = 37,5/100=0,375.$$

З отриманої математичної моделі знайдемо значення факторів які забезпечують максимальне значення вихідного параметру  $y$ . Для цього по кожній змінній ( $x_1, x_2, x_3$ ) беремо похідну в результаті маємо

$$\frac{dy}{dx_1} = 100,5 - 58,125 \times 2 \times x_1$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 94 - 52,625 \times 2 \times x_2$$

$$\frac{dy}{dx_3} = 79,25 - 51,625 \times 2 \times x_3$$

Відомо що в точці екстремуми перша похідна дорівнює нулю (ссылка). Тому прирівнюємо похідні до нуля. В результаті отримуємо:

$$100,5 - 58,125 \times 2 \times x_1 = 0;$$

$$94 - 52,625 \times 2 \times x_2 = 0;$$

$$79,25 - 51,625 \times 2 \times x_3 = 0.$$

Вирішуючи дану систему, отримаємо наступні значення факторів в кодованих значеннях:

$$X_{1s} = 0,864;$$

$$X_{2s} = 0,893;$$

$$X_{3s} = 0,767.$$

Таблиця 3.6 - Розрахункові значення рівняння регресії

| Розрахункові значення у | Експериментальні значення $\overline{y_z}$ | $y - \overline{y_z}$ | $(y - \overline{y_z})^2$ |
|-------------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| 34,4                    | 34,25                                      | 0,15                 | 0,022                    |
| 26,7                    | 26,52                                      | 0,17                 | 0,030                    |
| 24,3                    | 24,57                                      | -0,27                | 0,075                    |
| 16,8                    | 16,85                                      | -0,05                | 0,002                    |
| 30,2                    | 30,03                                      | 0,16                 | 0,027                    |
| 33,4                    | 33,53                                      | -0,13                | 0,018                    |
| 27,8                    | 27,98                                      | -0,18                | 0,035                    |
| 23,7                    | 23,86                                      | -0,16                | 0,026                    |
| 18,8                    | 18,31                                      | 0,48                 | 0,237                    |
| 30,1                    | 30,03                                      | 0,06                 | 0,004                    |
| 32                      | 31,86                                      | 0,13                 | 0,018                    |
| 26,3                    | 26,31                                      | -0,01                | 0,0001                   |
| 24,3                    | 24,13                                      | 0,16                 | 0,026                    |
| 18,3                    | 18,58                                      | -0,28                | 0,082                    |
| 29,8                    | 30,03                                      | -0,23                | 0,054                    |

0,37 < 19,3 відповідно, отримана модель адекватна при 95 % рівні значимості.

Таким чином отримали значення факторів які забезпечують максимальне значення параметра оптимізації – густина штабіка. Його значення розрахували підстановкою отриманих значень факторів у отриману математичну модель. В результаті маємо:

$$Y = 18146$$

Це значення перевищує показник, який відповідає бізовій технології.

Кодовані значення факторів перевели у натуральні:

$$0,864 = \frac{x_1 - 0,6}{0,2};$$

$$X_1 = 0,7728$$

$$0,893 = \frac{x_2 - 2550}{50};$$

$$X_2 = 2594,65$$

$$0,767 = \frac{x_3 - 900}{300};$$

$$X_3 = 1130,1$$

Таким чином оптимізували технологію волочіння.

Висновки:

- В результаті даної роботи отримано математичну модель процесу спікання, яка пов'язує технологічні параметри з густиною штабиків і представляє собою поліном другого ступеню.
- Розраховані значення наступних технологічних параметрів: швидкість нагрівання штабиків при спіканні, температура спікання, тривалість витримки.
- Густина штабіка збільшена до 18146 кг/м<sup>3</sup>.

### 3.4 Дефекти при спіканні і заходи щодо їх запобігання

При спіканні з'являється не тільки дефект, викликаний порушенням технології, але і виявляється дефект попередніх операцій виготовлення порошку, порошкових сумішей і формовок. Тому до організації проведення цієї операції слід підходити дуже уважно. Нижче наведені види дефектів що найбільш часто зустрічаються при спіканні.

Приховані розшарування - прояв в порошковому формуванні після спікання тріщин, що були в ній в результаті неправильного режиму формування у вигляді невеликих порушень суцільності, невидимих неозброєним оком. Дефект не виправний.

Викривлення і спотворення форми - порушення необхідних геометричних розмірів порошкового виробу. Часто спостерігається в плоских виробах, товщина яких незначна в порівнянні з довжиною, особливо в разі виготовлення виробів з високодисперсних порошоків, що дають значну усадку при спіканні. Появі такого виду дефекту сприяє погане змішування компонентів шихти, нерівномірна густина порошкової формовки і занадто швидке її нагрівання при спіканні. Цей дефект може бути виправлений (хоча і не завжди) подальшою холодною або гарячою обробкою тиском. З метою попередження його появи застосовують спікання під тиском або при порівняно невисоких швидкостях нагріву порошкових формовок.

Перевитрата - порушення нормальної структури порошкового виробу, що виявляється у вигляді його загрублення (надмірного зростання частинок), підвищення пористості або розтріскування через істотне перевищення заданої температури спікання. Дефект не виправний.

Недопiкання - порушення вимог щiльностi i мiцностi порошкового виробу пiсля спiкання в зв'язку з заниженою температурою або тривалiстю витримки при нагрiваннi. Дефект може бути виправлений повторним спiканням.

Окислення - поява на поверхнi порошкового виробу кольорiв мiнливостi, окалини або корозii. Цей вид дефекту пов'язаний в основному з порушенням складу захисної атмосфери при спiканнi i в рядi випадкiв може бути виправлений повторним нагрiванням в iдновлювальнiй атмосферi. При наявностi в складi порошкового матерiалу компонентiв, що утворюють важковiдновнi оксиди, такий дефект невиправний.

Скоринка - дефект при спiканнi порошкового формування, що полягає в утвореннi в поверхневому шарi структури, що вiдрiзняється вiд заданої. Наприклад, це може мати мiсце через розкладання органiчного зв'язку, що вводяться в порошок. Дефект невиправний. Для попередження його появи необхідний повiльний i рiвномiрний нагрiв порошкової формовки, ретельне її укриття засипанням i достатнiй потiк захисного газу.

Спучування - утворення пухирiв на поверхнi спеченої заготовки через iнтенсивне газовидiлення при Рiдкофазному спiканнi або мiсцевих перегрiвiв в зв'язку з нерiвномiрностю нагрiву порошкової формовки в печi, що викликають розплавлення компонентiв при твердофазному спiканнi. Дефект практично невиправний. Попередити його появу можна пiдбором порошокiв, змiною режиму спiкання i способу нагрiвання порошкового формування.

Випотiвання - видiлення рiдкої фази на поверхнi порошкового виробу при Рiдкофазному спiканнi через погану або погiршення смочування розплавом тугоплавкої складової матерiалу. Дефект невиправний. Для попередження його появи хiмiчний склад матерiалу повинен бути скоректований.

Дифузiйна пористiсть - пористiсть, що виникає при спiканнi порошкового формування, що складається з компонентiв, що володiють рiзними коефiцiєнтами взаємної дифузii.

Зневуглицювання - зменшення вмісту вуглецю в поверхневих шарах порошкового виробу, в основному через підвищений вміст окислювачів в атмосфері гарячої зони печі. Для попередження небезпеки зневуглицювання виробів човники (піддони) з порошковим формуванням закривають металевими або графітовими кришками, а також застосовують захисні засипки, що містять вуглець. Слабо зневуглицювані порошкові вироби можна виправити, спікання їх повторно в вуглецевмісної засипці при мінімальному струмі водню.

Сажистий наліт - утворення на поверхні порошкової формовки темного нальоту в результаті розкладання оксиду вуглецю, метану або інших вуглеводнів. Цей вид дефекту може з'явитися через наявність на поверхні порошкової формовки важких масел і інших речовин, запікання при нагріванні з утворенням вуглець нальотів.

Сульфідна плівка - утворення на поверхні порошкового виробу нальоту, що містить сполуки сірки.

Роз'їдання і шорсткість поверхні - порушення цілісності поверхні порошкового виробу в результаті розкладання або відновлення будь-яких хімічних сполук, які були на поверхні порошкової формовки або утворилися при її нагріві в печі.

Дефект при спіканні, особливо невиправний, істотно погіршує економічні показники виробництва матеріалів і виробів методом порошкової металургії. У зв'язку з цим при появі дефекту повинні бути прийняті негайні заходи по з'ясуванню причин його виникнення і їх усунення, в тому числі на всіх стадіях технології, що передують спіканню.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Тенденції розвитку ринку вольфрамових сплавів

Вольфрам зустрічається в природі досить рідко. Найчастіше - це окислені складні сполуки, утворені триокиси вольфраму, який, в свою чергу, взаємодіє з міддю, свинцем і іншими матеріалами. Мінерали вольфраму практично завжди вкраплені в дуже товстому шарі гірських порід, через що середня концентрація металу становить близько 2 відсотків. Великі родовища знаходяться в Росії, Китаї, Австралії, Канаді.

Вміст вольфраму в земній корі становить 0,007%. Згідно з даними, опублікованими USGS в 2014 році, світові запаси вольфраму складають 3,5 мільйона тонн. Близько двох третин світових запасів знаходяться в вигляді шеелита, решта - у вигляді мінералів вольфрамітових груп.

Метал в основному зосереджений в районах, близьких до гірських поясів, зокрема альпійсько-гімалайському і тихоокеанському. Великі вольфрамові відкладення виявлені в районі Далекого Сходу, в Південному Китаї, Кореї та Японії. Східних прибережних поясах Австралії, Альпійський пояс, який відноситься до Франції і частина Туреччини. Згідно з офіційними даними USGS (геологічна служба США), світові запаси вольфраму складають близько 3,5 млн. Тонн.

Світове виробництво вольфрамової продукції становить 71 000 тонн. Китай є найбільшим виробником тугоплавкого металу, за ним йдуть Росія і Канада. На три ці країни припадає 91% від загального обсягу світового виробництва. Далі по низхідній ідуть Австрія, Болівія і Португалія.

На сьогоднішній день вольфрам вважається стратегічним металом в США і Європейському союзу. Необхідність використання сплаву в інструментальних і

будівельних сталях по всьому світу обумовлена зростаючим попитом і постійним вдосконаленням системи якості. Вольфрамові компоненти, такі як вольфрамовий пруток, вольфрамовий лист, вольфрамовий дріт і вольфрамова стрічка, використовуються в освітлювальній техніці, електронній промисловості, транспорті, хімічній промисловості, індустрії плавки, медичній техніці та енергетиці.



Рисунок 4.1 - Основне використання металу у світовій промисловості: цементований карбід вольфраму - 55%; сталі інструментальні, вуглецеві та будівельні - 20%; виробничі млини - 17%; все інше - 8%.

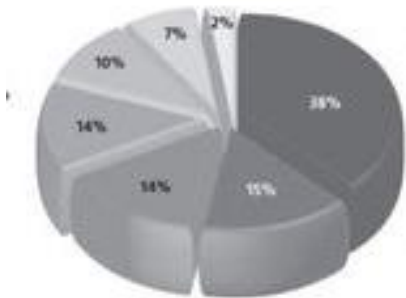


Рисунок 4.2 - Використання карбіду вольфраму: механічні деталі загального призначення - 38%; нафта і газ - 15%; автомобілебудування - 14%; аерокосмічна та оборонна промисловість - 14%; гірничодобувна промисловість і будівництво - 10% електроніка - 7%; все інше - 2%.



#### 4.2 Техніко-економічні розрахунки

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології спікання прутка ВР10Т2.

Таблиця 4.1-Техніко-економічні показники виробів

| Найменування виробу,      | Базовий виріб | Новий виріб                     |
|---------------------------|---------------|---------------------------------|
| 1. Пруток                 | ВР10Т2        | ВР10Т2                          |
| 2. Технологія оптимізації |               | Збільшення температури спікання |
| 3. Програма випуску, кг   |               | 1000                            |

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Вартість купівельних комплектуючих виробів розраховується на основі норм використання й цін, з урахуванням транспортно – заготівельних витрат.

Розрахунок вартості купівельних комплектуючих виробів наводиться в таблиці 4.2.

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Таблиця 4.2 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці та гальванічному покриттю

| Найменування сировини та основних матеріалів | Норма використаня | Ціна, грн | Вартість, грн |
|----------------------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| Електроенергія                               | 412,5 кВт         | 22,68     | 1105,5        |

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3- Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

| Найменування операції | Норма часу, н-годин | Розряд робіт | Часова тарифна ставка, грн. | Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн. |
|-----------------------|---------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| Спікання              | 0,4                 | 5            | 55                          | 13,75                                                 |

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{К_д}{100}, \text{ грн.}$$

$$ЗД = 13,75 \cdot 0,4 = 5,5 \text{ грн}$$

де  $К_д$  – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою

$$BC = (ZO + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{bc}}{100}, \text{ грн.}$$

$$BC = (17,75 + 5,5 + 1,37) \cdot 0,22 = 4,53 \text{ грн}$$

де ПП – премії з прибутку, грн;

$K_{bc}$  - % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою

$$ЗВВ = ZO \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн}$$

$$ЗВВ = 13,75 \cdot 4 = 55 \text{ грн}$$

де  $\alpha$  - % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 500% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою

$$AB = 30 \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн}$$

$$AB = 13,75 \cdot 5 = 68,75 \text{ грн}$$

де  $\beta$  - % адміністративних витрат.

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою

$$BZ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн}$$

$$BZ = 1869,28 \cdot 0,02 = 37,38 \text{ грн}$$

де  $C_v$  – собівартість виробнича, грн;

$\gamma$  - % витрат на збут .

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою

$$П = C \cdot \frac{P}{100}, \text{ грн}$$

$$П=1975,4 \cdot 0,3 = 592,6 \text{ грн}$$

де Р – рентабельність виробу, %.

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою

$$ПДВ = Ц \cdot \frac{H_{\text{нде}}}{100}, \text{ грн.}$$

$$ПДВ = 2568 \cdot 0,2 = 513,6$$

де  $H_{\text{нде}}$  – норматив податку на додану вартість, %.

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

$$Ц_{\text{пр}} = Ц + ПДВ, \text{ грн}$$

$$Ц_{\text{пр}} = 2568 + 513,6 = 3081,6 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

| Статті витрат |                                                                                    | Сума, грн |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1             | Сировина і основні матеріали                                                       | 685       |
| 3             | Основна заробітна плата основних виробничих робітників                             | 13,75     |
| 4             | Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників                           | 5,5       |
| 5             | Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників | 4,53      |
| 6             | Загальновиробничі витрати                                                          | 55        |
| 7             | Собівартість виробнича                                                             | 1869,28   |
| 8             | Адміністративні витрати                                                            | 68,75     |
| 9             | Витрати на збут                                                                    | 37,38     |
| 10            | Собівартість повна                                                                 | 1975,4    |
| 11            | Прибуток                                                                           | 592,6     |
| 12            | Ціна оптова                                                                        | 2568      |
| 13            | Податок на додану вартість                                                         | 513,6     |
| 14            | Ціна продажу                                                                       | 3081,6    |

#### 4.3 Економічна ефективність

Розраховується економічна ефективність інноваційного проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;
- питомі показники ефективності;
- беззбитковість виробництва;

- термін окупності додаткових капітальних вкладень;
- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві ізраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів.

Економічний ефект від впровадження нової технології спікання

$$E = (C_b \cdot K - C_n) \cdot N = (2871 \cdot 1,2 - 1975,4) \cdot 1000 = 1469800 \text{ грн}$$

$C_b$  – собівартість базового виробу;

$C_n$  – собівартість нового виробу;

$K$  – коефіцієнт зниження браку.

Вдосконалена технологія виробництва штабіка зі сплаву ВР10Т2 передбачає збільшення виходу годної продукції на 20%, але для досягнення цієї мети необхідно збільшити температуру спікання на 100 °С, що тягне за собою удорожчення виготовлення штабіка. Та незвертаючи уваги на подорожчення вдосконаленої технології економія витрат при виробництві прутка з вольфрамового сплаву ВР10Т2, за рахунок зменшення бракованої продукції, складає 1 469 800 грн з 1 тони.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі наведені основні заходи з охорони праці при розробці технологічних параметрів переробу штабіка з сплаву ВР10Т2.

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме:

- вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місцях, що може бути пов'язано з не проведенням організаційних заходів щодо навчання та перевірки знань з охорони праці, інструктажів, не наданням інформації про можливі небезпеки;

- вимог щодо облаштування робочих зон, що може бути пов'язано з незадовільним станом устаткування, захисних пристроїв, відсутності схем евакуації, захаращеність аварійних виходів.

- вимог щодо облаштування виробничих приміщень, що може бути пов'язано з втратою конструктивної міцності будівель та споруд, незабезпеченням придатних метеорологічних умов, перевищенням гранично-допустимих концентрацій шкідливих речовин, недостатнього рівня освітлення.

Б) Можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності



енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

В) Небезпеки які можуть мати прояв під час виробництва порошкових виробів, а саме травми органів дихання, слуху і зору.

Г) Небезпеки які можуть мати прояв при оцінюванні якості отриманого досліджувального матеріалу. А саме отруєння забрудненим повітрям при сортуванні штабиків, або опіки при недостатньому охолодженні після спікання готової продукції, також при недодержанні встановлених правил безпеки робітник може отримати травму при перевірці матеріалу на механічні властивості

Д) Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань.

Е) Незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих із врахуванням енергетичних витрат на виконуваних роботах згідно з ДСН 3.3.6.042-99 « Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань.

Ж) Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці

З) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору.

И) Заходи з пожежної безпеки розробляються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

К) Заходи з захисту у надзвичайних ситуаціях

## 5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

А) Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників з питань охорони праці як відносно підприємства в цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі небезпечні ситуації та заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий).

- вимоги до облаштування робочих зон передбачають справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників, можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або їх усунення.

Шляхи пересування в робочій зоні, включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначені відповідними знаками, мати дороговкази, бути так розташовані і мати такі розміри, щоб прохід або проїзд був легким і безпечним. Наприклад: підлоги приміщень не повинні мати нерівностей, отворів або небезпечних ухилів, двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись, так, щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і

швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів, захищеність робочих зон, шляхів пересування, аварійних виходів категорично забороняється.

- виробничі приміщення повинні мати достатню площу і висоту, раціональне планування відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания».

Б) Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ — 2013 «Правила улаштування електроустановок - споживачів» передбачається:

- Всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та отримати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 (10) Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

- Періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше 3 групи) з електробезпеки.

- Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачено використовувати подвійну ізоляцію провідників.

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

- Наприклад: усі ремонтні роботи на електронних мікроскопах проводять тільки після повного відключення від електричної мережі. При зміні катоду після

розкриття електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусу чого електроду, треба зняти заряд з катодного вутла шляхом його заземлення.

- Усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двома особами.

В) Транспортування порошкових матеріалів зі складу, а також під час технологічного процесу з виготовлення електродів повинно виконуватися конвеєрами закритого типу, які унеможливають виділення пилу в приміщення.

Просіювання порошоків повинно виконуватись на ситах закритого типу, обладнаних аспірацій ними пристроями. У виняткових випадках можна просіювати порошки на ситах відкритого типу, якщо вони обладнані місцевими аспірацій ними пристроями, а працівники застосовують засоби захисту органів дихання і зору.

Сушіння сипких матеріалів повинно проводитись у сушильних барабанах, з яких неможливе виділення пилу в приміщення.

Розмелювання компонентів (крім вибухонебезпечних) повинно проводитися сухим способом у призначених для цього кульових млинах періодичної або безперервної дії. Барабани млинів у місцях з'єднань із завантажувальними та розвантажувальними пристроями повинні мати ущільнення, що запобігають пило виділенню у приміщення та погіршенню їх звукоізоляції.

Під час роботи дробарок працівники, які обслуговують таке обладнання, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту органів дихання, слуху і зору та використовувати їх.

У приміщеннях розмелювання і пасивування повинна бути забезпечена надійна робота припливно-витяжної вентиляції.

До дільниць, на яких проводиться робота з розчином силікату натрію, повинна бути підведена вода для миття устаткування й тари.

Для швидкої зупинки катушок під час обривання дроту та зупинки правильно-відрізного верстата повинен бути передбачений гальмівний пристрій.

Під час виготовлення порошкового дроту необхідно дотримуватися вимог Державних санітарних правил для підприємств порошкової металургії, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.12.95 N 235 зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 15.07.96 за N 354/1379.

Г) Штабіки повинні сортуватися верстатами-автоматами чи вручну на столах або на конвеєрах, які повинні бути обладнані по всій площі відсмоктувачами забрудненого повітря.

Знімання обмазки зі стрижня електродів під час переробки забракованих штабиків повинно виконуватись на верстатах з герметичним укриттям або вологим способом.

Для складування упакованих у папір пачок штабиків повинні бути передбачені майданчики для розміщення піддонів і стелажів.

Випробовування зварювально-технологічних властивостей готових штабиків і порошкового дроту повинно проводитися у спеціально обладнаних приміщеннях з дотриманням вимог чинних нормативно-правових актів. Пост для випробовувань штабиків повинен бути обладнаний скошеним зонтом з екраном із тканини на рівні 0,8 м над робочою поверхнею.

Перед сортуванням і упаковуванням штабиків повинні бути охолоджені до температури не менше ніж плюс 43 °С.

Д) Горизонтальний металографічний мікроскоп призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі.

Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктів, окулярів. При вживанні їх треба враховувати, тому що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур.

Крім правильної комбінації об'єктів 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.

### 5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Е) Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Гігієнічна класифікація праці спрямована на гігієнічну оцінку умов та характеру праці на робочих місцях працівників та застосовуються на підприємствах, в установах, організаціях усіх форм власності у випадках, передбачених законодавством.

Роботодавцями для розробки заходів щодо покращення умов праці та профілактики шкідливого впливу на організм працюючих використовуються результати досліджень (вимірювань) та гігієнічної оцінки умов праці, проведених з використанням критеріїв Гігієнічної класифікації праці.

Гігієнічна класифікація праці базується на оцінці її умов залежно від фактично визначених рівнів впливу факторів виробничого середовища і трудового процесу з урахуванням їх можливої шкідливої дії на здоров'я працівників.

Оцінка умов праці на робочих місцях, аналіз впливу на працюючих санітарно-гігієнічних чинників і параметрів трудового процесу, передбачених гігієнічною класифікацією проводиться в процесі трудової діяльності. При цьому, оцінюється технічний і організаційний рівень робочого місця та ступінь можливого ушкодження здоров'я.

До санітарно-гігієнічних умов відносять:

- мікрокліматичні умови та їх забезпечення (відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»);

- освітленість робочої зони та її забезпечення (відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»);

- рівень шуму в робочій зоні (згідно вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»);

- виробничі вібрації (згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги»);

- іонізуючі випромінювання і неіонізуючі електромагнітні поля та випромінювання моніторів (згідно МРР II, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»);

- вимоги до приміщень (лабораторій, офісів, тощо) обладнаних ПК з ВДТ і розміщення робочих місць з ПК, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні

правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»;

- вимоги до обладнання і організації робочих місць користувачів ПК, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»;

- важкість та напруженість праці (у відповідності до «Гігієнічної класифікації праці»);

- вимоги до режиму праці та відпочинку при роботі з ПК, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»;

- забезпечення вимог до санітарно-побутових приміщень (згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення»).

Оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою проводять відповідно до вимог «Гігієнічної класифікації праці» з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, у разі їх наявності, у відповідності до алгоритму розрахунку оцінки рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою [22].

Ж) Заходи щодо забезпечення санітарних норм мікроклімату розробляються відповідно до вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного середовища виробничого приміщення, які надані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимальні параметри повітряного середовища

| Період року | Температур<br>а, °С | Відносна<br>вологість, % | Швидкість<br>руху, м/с |
|-------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Холодний    | 18-22               | 40-60                    | 0,1-0,3                |
| Теплий      | 20-23               | 40-60                    | 0,1-0,4                |



В приміщеннях, де немає викидів шкідливих речовин у великій кількості, для забезпечення зазначених параметрів, в теплий період року, передбачено устрій штучної механічної загально обмінної вентиляції або кондиціонування, а в холодний період року устрій систем водяного або електричного опалення, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

В приміщеннях обладнаних ПК з ВДТ заходи розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

3) Норми освітлення залежать від параметрів, які передбачено роботою. Відстань від очей до предмета праці повинна бути визначена в кожному окремому випадку. Що менше відношення діаметра деталі до відстані від очей, то інтенсивнішим повинно бути освітлення. При цьому необхідно враховувати й здатність поверхні відбивати світло. Спектр джерел світла повинен максимально наближатися до спектра сонячного випромінювання. Важливо також захистити очі робітників від сліпучого світла. Усі системи освітлення повинні забезпечувати правильне сприйняття відтінків світла, аби в робочих приміщеннях було рівномірне освітлення. Тому слід подбати про загальне та місцеве. Освітлювальні пристрої мають забезпечувати гігієнічні вимоги: освітлення, якого було б достатньо для виконання певної роботи без напруження зору; рівномірність освітлення, без тіней, у межах робочої поверхні, рівень освітлення проходів; захист очей відблиску; виконання вимог безпеки (шляхом обладнання в окремих

випадках аварійного освітлення). Нормативні величини освітленості робочих місць для різних видів робіт та відповідних зорових навантажень визначаються ДБН Б.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

## 5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

### 5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

И) Заходи з пожежної безпеки розробляються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания». Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне видалення

від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:автоматичних сигналізаторів про пожежу; системи пожежної сигналізації.

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Розгляд заходів з пожежної безпеки, почати реченням, наприклад. Комплекс протипожежних заходів для приміщення дослідницького центру (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

#### 5.4.2 Заходи захисту у надзвичайних ситуаціях

К) Заходи з захисту у надзвичайних ситуаціях розробляються у відповідності до вимог «Кодексу цивільного захисту України» на основі знань та практики що отримані в процесі виробництва. При цьому розробляються конкретні інженерно-технічні заходи з підвищення стійкості роботи промислового

об'єкта в умовах надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру та ліквідації її наслідків.

Для захисту робітників та службовців від впливу наслідків надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру недалеко від робочого місця мають розташовуватися: місця сховищ і укриття; місця розташування ємностей для запасу води з урахуванням норм на виробничі, побутові, протипожежні потреби та для проведення обеззаражування; схеми розташування засобів протипожежного захисту; місця (приміщень або споруд) в яких можуть утримуватись вибухові і пожежанебезпечні речовини, а також місця, де можуть бути шкідливі газовиділення чи пилоутворення мають бути огорожені та відповідно до ступеню небезпеки помічені.

## ВИСНОВОК

Висока густина дозволяє широко використовувати вольфрам і його сплави в найрізноманітніших сферах промисловості. Наприклад в радіоламповій промисловості використовують сплав вольфраму і ренію (ВР10Т2) для катодів електронних лампах.

Метою даної роботи було оптимізація технології високотемпературного спікання дроту ВР10Т2.

В результаті даної роботи отримано математичну модель процесу спікання, яка пов'язує технологічні параметри з густиною штабиків і представляє собою поліном другого ступеню.

Розраховані значення наступних технологічних параметрів: швидкість нагрівання штабиків при спіканні, температура спікання, тривалість витримки. Густина штабіка збільшена до  $18146 \text{ кг/м}^3$ .

По результатам опрацьованого матеріалу запропонована вдосконалена технологія виробництва дроту зі сплаву ВР10Т2, що дозволяє збільшення виходу годної продукції до 20 %.

Виконано техніко-економічні розрахунки що підтверджують доцільність оптимізації технології.

Зроблено аналіз потенційних небезпек та запропоновані заходи щодо їх запобігання.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). – Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. 36 с.

2 Дяченко С.С., Гладкий І.П., Замора М.Ф., Кафтанов С.В. Матеріалознавство. Російсько-українсько-англійський термінологічний словник. Київ: ІЗМН, 1997. 296 с

3 Металознавство: Підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко, В.М. Писаренко, Ю.М. Москаленко. Київ : «Політехніка» ІВЦ, 2001. 375 с.

4 Лазечний І.М., Кононенко Ю.І. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Наукові основи вибору матеріалів і технологій” для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» усіх форм навчання. Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. 102 с.

5 Климов О.В., Лазечний І.М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Термічна обробка” для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” усіх форм навчання /Укл.: О.В. Климов, І.М. Лазечний. Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. 34 с.

6 Агте К., Вацек И. “Вольфрам и молибден”.

7 Вольфрамові сплави. веб-сайт. URL: <http://ru.wikipedia.org>

8 Тугоплавкі сплави веб-сайт. URL: <http://www.metotech.ru>

9 Третьяков А.Ф. Курс лекций по дисциплине "Технология конструкционных материалов".

10 Фистуль В.И. Новые материалы (состояние, проблемы и перспективы): Учебное пособие для ВУЗов. - М: МИСИС, 2005.-142с.

11 В.В.Астанин. Микроструктурный дизайн перспективных материалов и композитов на их основе. Учебное пособие. - Уфа: УГАТУ, 2010. -60с.

12 В.В.Будилов. Проектирование технологического процесса вакуумно-плазменной обработки деталей двигателей летательных аппаратов. Учебное пособие - Уфа, УАИ, 2008, 85с.

13 Митин Б.С., Васильев В.А., Порошковая металлургия аморфных и микрокристаллических материалов, М.: Металлургия, 1992, 128с.

14 Р.З. Валиев, И.В. Александров. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М.: Логос, 2010.- 272с.

15 Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф., Материаловедение, М.: МИСИС, 2009, 600с

16 К.Г. Шмитт-Томас, Металловедение для машиностроения М.: Металлургия, 1995-512с.

17 С.И. Венецкий. Загадки и тайны мира металлов. - М.: МИСИС, 2009. 376 с

18 В.А. Роменец. "Ромелт" - полностью жидкофазный процесс получения металла. Металлы, 2009, №12, с.3

19. Рудской А. И. Волочение: учеб. пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев, О. П. Шаболдо.– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 126 с.

20 Марочник веб-сайт. URL: [http://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/](http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/)

21 Обработка вольфрама и молибдена давлением. веб-сайт. URL: <https://msd.com.ua/metallurgiya-redkix-metallov/obrabotka-volframa-i-molibdena-davleniem/>

22 Зеликман А.Н., Никитина А.С. "Вольфрам": Освіта.1969. 53 с.

23 Уткин Н.И. "Металлургия цветных металлов": Освіта.2003. 453 с.

24 Третьяков А.Ф. Курс лекций по дисциплине "Технология конструкционных материалов".2010. 43 с.

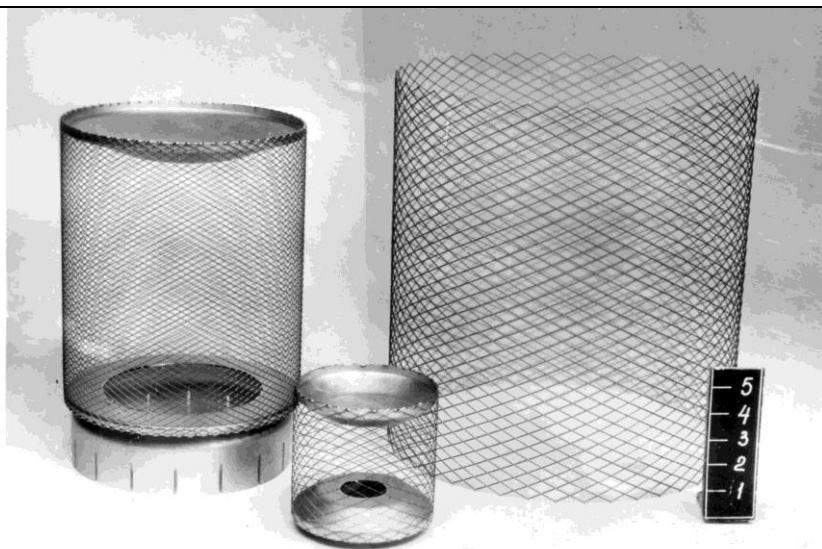
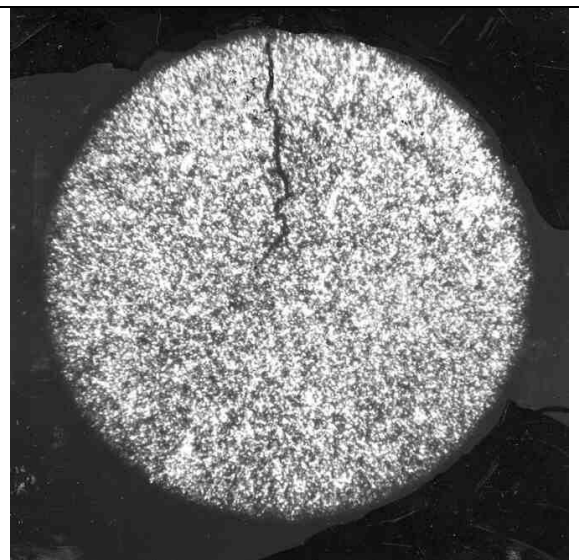
25 Агте К., Вацек И. "Вольфрам и молибден": Освіта.2015. 65с.

## Хімічний склад вольфрамового сплаву

| Марка сплава | Вміст елементів, % мас.        |                                |                  |       |       |                  |         |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------|------------------|---------|
|              | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | Mo    | ThO <sub>2</sub> | Re      |
| BP10T2       | 0.0014                         | 0.0017                         | 0.002            | 0.002 | 0.003 | 1.5-1.75         | 10-10.5 |

## Властивості вольфрамового дроту

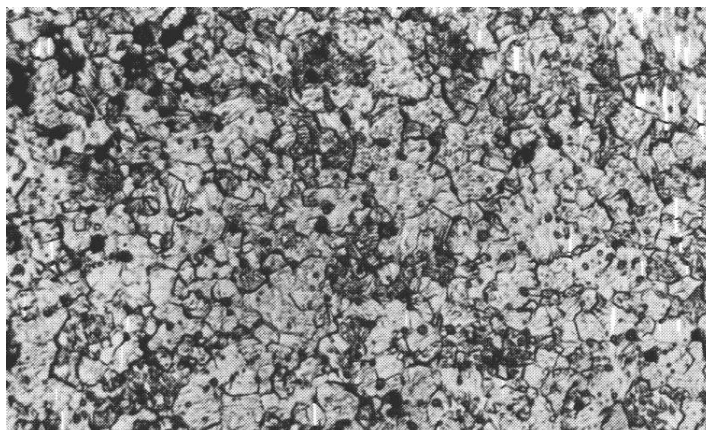
| Марка сплаву | Температура випробування<br>20 °С |                         | Температура рекристалізації<br>$t \pm 20, \text{ }^\circ\text{C}$ ,<br>$\tau=1 \text{ год.}$ | $\sigma_B \pm 5$ ,<br>МПа<br>при<br>2200 °С | Коефіцієнт розшарування<br>$K_p$<br>$\pm 1,5, \%$ |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|              | $\sigma_B \pm 50$ ,<br>МПа        | $\delta \pm 0,5$ ,<br>% |                                                                                              |                                             |                                                   |
| BP10T2       | 2500                              | 7,1                     | 1950                                                                                         | 130                                         | 19,5                                              |

Катоди радіоламп,  
BP10T2BP10T2  $\times 150 \times 3$

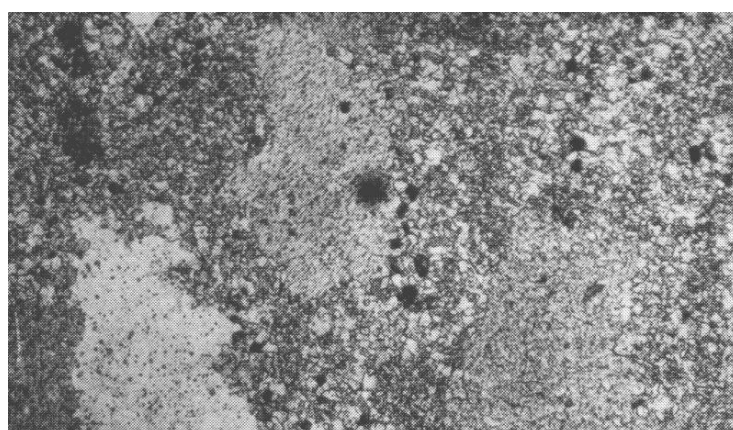


Додаток Б

МІКРОСТРУКТУРА СПЛАВУ ВР10Т2 З КРУПНИХ  
ПОРОШКІВ,  $\times 800$



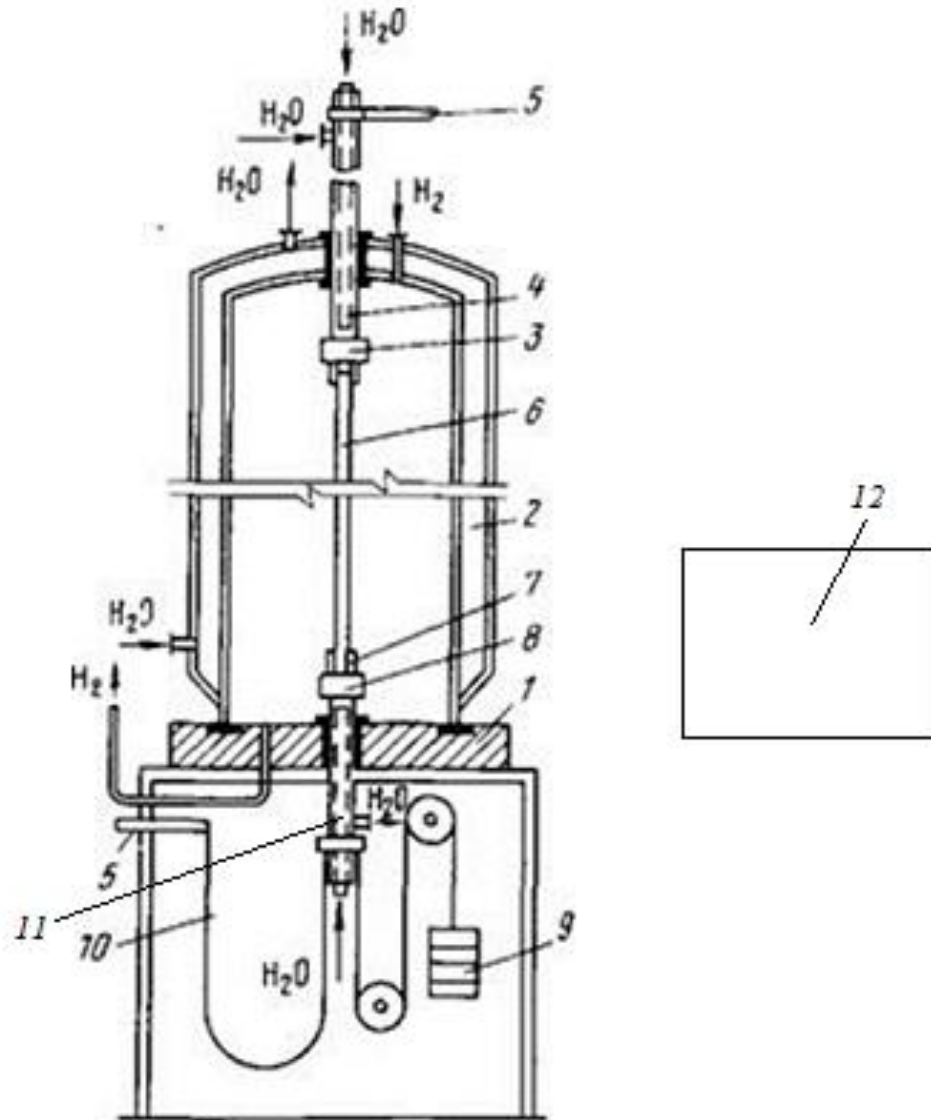
МІКРОСТРУКТУРА ШТАБИКІВЗІ СПЛАВУ ВР10Т2 З  
ДРІБНИХ ПОРОШКІВ  $\times 400$



МІКРОСТРУКТУРА ШТАБИКІВ ЗІ СПЛАВУ ВР10Т2  
 $\times 10000$



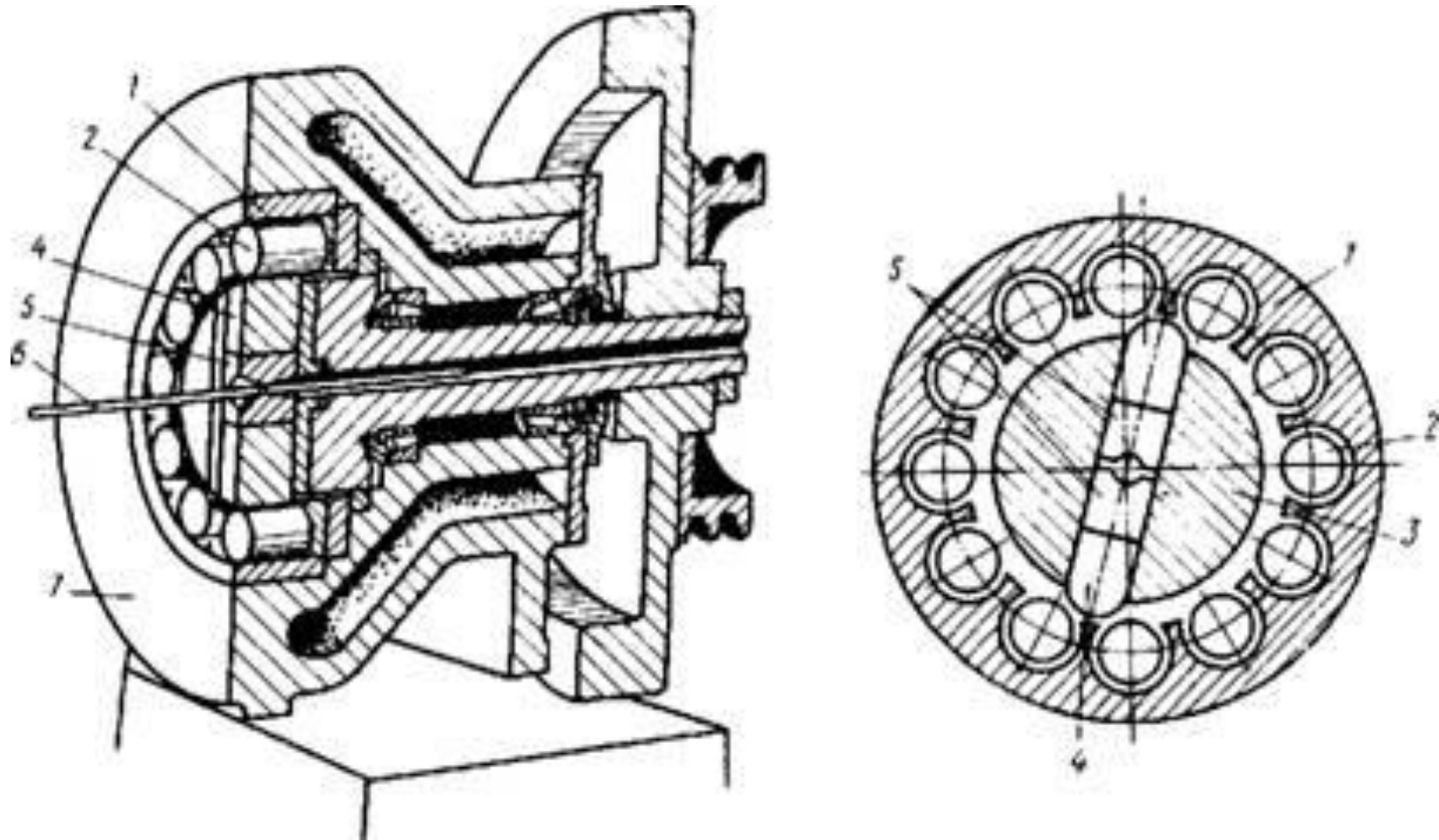
## СХЕМА АПАРАТУ ДЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПІКАННЯ ВОЛЬФРАМОВИХ ШТАБИКІВ



1 - сталева плита; 2 - охолоджуваний ковпак; 3 - верхній нерухомий контакт; 4 - струмопідвід; 5 - шина, що підводить струм; 6 - штабик що спікається; 7 - затискні щипці; 8 - нижній рухливий контакт; 9 - протизважель; 10 - гнучкий струмопідвід; 11 – датчик зміщення захвату%; 12- прибор який реєструє усадку.

Додаток Г

## СХЕМА РОТАЦІЙНОЇ КУВАЛЬНОЇ МАШИНИ



1 - обойма; 2 - ролики; 3 - шпиндель з каналом для прутка; 4 - повзуни; 5 - штампи; 6 - пруток;  
7 – станина.

Додаток Д

УМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА  
ГУСТИНУ СПЕЧЕНИХ ШТАБИКІВ

| Фактори                                                                                     | Інтервал<br>варіювання | Рівні факторів |          |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|----------|---------|
|                                                                                             |                        | Нижній         | Середній | Верхній |
| $X_1$ – швидкість нагрівання штабиків від температури 1300 °С до температури спікання, °С/с | 0,2                    | 0,8            | 1        | 1,2     |
| $X_2$ – температура спікання, °С                                                            | 60                     | 2490           | 2550     | 2610    |
| $X_3$ – тривалість витримки при спіканні, с                                                 | 320                    | 580            | 900      | 1220    |

## Додаток Е

МАТРИЦЯ ПЛАНУВАННЯ В КОДОВАНИХ  
ВЕЛИЧИНАХ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДІВ

| Номер<br>дослідю | $X_0$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | Густина<br>штабиків, $\rho$ ,<br>$\text{кг/м}^3$ |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------------------|
| 1                | 1     | +     | +     | 0     | 18060                                            |
| 2                | 1     | +     | -     | 0     | 17929                                            |
| 3                | 1     | -     | +     | 0     | 17910                                            |
| 4                | 1     | -     | -     | 0     | 17728                                            |
| 5                | 1     | 0     | 0     | 0     | 18020                                            |
| 6                | 1     | +     | 0     | +     | 18050                                            |
| 7                | 1     | +     | 0     | -     | 17942                                            |
| 8                | 1     | -     | 0     | +     | 17900                                            |
| 9                | 1     | -     | 0     | -     | 17739                                            |
| 10               | 1     | 0     | 0     | 0     | 18040                                            |
| 11               | 1     | 0     | +     | +     | 18050                                            |
| 12               | 1     | 0     | +     | -     | 17946                                            |
| 13               | 1     | 0     | -     | +     | 17909                                            |
| 14               | 1     | 0     | -     | -     | 17748                                            |
| 15               | 1     | 0     | 0     | 0     | 18030                                            |

## Додаток Ж

ПІСЛЯ ПІДСТАНОВКИ ЗНАЧЕНЬ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРИЙМАЄ ВИГЛЯД:

$$Y = 18030 + 100,5 \cdot X_1 + 94 \cdot X_2 + 79,25 \cdot X_3 - 58,125 \cdot X_1^2 - 52,625 \cdot X_2^2 - 51,625 \cdot X_3^2$$

ЗНАХОДИМО ДИСПЕРСІЮ:

$$S_R = \sum (y_Z - \overline{y_Z})^2 = 301,75;$$

$$S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)} = 37,5.$$

РОЗРАХУНКОВЕ ЗНАЧЕННЯ  $F$  КРИТЕРІЮ:

$$F_P = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{y_Z\}} = 0,375 < 19,3.$$

ПОХІДНА ПО КОЖНІЙ ЗМІННІЙ ( $X_1, X_2, X_3$ )

$$\frac{dy}{dx_1} = 100,5 - 58,125 \times 2 \times X_1 = 0;$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 94 - 52,625 \times 2 \times X_2 = 0;$$

$$\frac{dy}{dx_3} = 79,25 - 51,625 \times 2 \times X_3 = 0.$$

ФАКТОРИ В КОДОВАНИХ ВЕЛИЧИНАХ ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА ОПТИМІЗАЦІЇ – ВИХІД ГОДНОЇ ПРОДУКЦІЇ.

$$X_{1S} = 0,864; \quad X_{2S} = 0,893; \quad X_{3S} = 0,767.$$

ГУСТИНА ШТАБІКА

$$Y = 18146.$$

КОДОВАНІ ЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ПЕРЕВЕЛИ У НАТУРАЛЬНІ:

$$0,864 = \frac{x_1 - 0,6}{0,2}; \quad X_1 = 0,7728;$$

$$0,893 = \frac{x_2 - 2550}{50}; \quad X_2 = 2594,65;$$

$$0,767 = \frac{x_3 - 900}{300}; \quad X_3 = 1130,1.$$