

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)
кафедра матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження та оптимізація
технології виробництва дроту
із сплаву Б7-15

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

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Прикладне матеріалознавство»
Александров В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Викіченко В.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Васков Т.П.
(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет інженерно-технічний
Кафедра матеріалознавства
Група вищої освіти маістр
Спеціальність матеріалознавство
(код і найменування)
Світня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Г.М. Кимов
« 16 » 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Алексеев Віктор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи) Дослідження та оптимізація технології виробництва дроту із сталю ВГ15

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

Потверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

Строк подання студентом проекту (роботи)

Вихідні дані до проекту (роботи) Предмет і об'єкт дослідження, зміст сфери впливу ВГ15 та технологія його виробництва

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

Вступ, огляд літературних джерел, матеріали та методи досліджень, основні технічні параметри на кожному етапі проекту

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

Умовні та механічні властивості, мікроструктура, схематична організація, основні властивості матеріалів, які використовуються, пропозиції та інтерпретація варіантів

Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
I	Вініченко В.С.		
II	Вініченко В.С.		
III	Вініченко В.С.		
Скочил. 2	Крушкова В.В., доцент, к. е. н	08.10.19	08.12.19
IV	Кветерів О.В.		
Нормо-контроль	Ткач О.В.		16.12.19

Дата видачі завдання « 04 » листопада 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ /п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Характеристика вальорансу	15.10.19	
	Об'єкт застосування вальорансу	25.10.19	
	Технологія виробництва торіонон. вальорансу	25.10.19	
	Векторна зміна даних	25.10.19	
	Сутність процесу вальорансу	14.11.19	
	Характер певної мети під час вальорансу	14.11.19	
	Значеність структури, вальорансу	25.11.19	
	і показники вальорансу, вальорансу, вальорансу		
	теоретичні дослідження технології вальорансу		
	Економічна частинка	02.12.19	
	Вороно країні та безпеки у вальорансу		
	вальорансу сальорансу	02.12.19	
	Висновки	09.12.19	

Студент(ка)

(підпис)

Александр В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Вініченко В.С.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 91 с. 13 рис., 18 табл., 23 джерел.

Об'єкт дослідження – процес волочіння сплаву ВТ15.

Мета роботи - дослідити та оцінити вплив технологічних факторів на величину виходу годної продукції, оптимізація технології виробництва дроту зі сплаву ВТ15.

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

Отримано математичну модель процесу волочіння яка пов'язує технологічні параметри з вихолом годного і представляє собою поліном другого ступеню. Розраховані значення наступних технологічних параметрів: температура волочіння, обтиснення за перший перехід, обтиснення за наступні переходи. По результатам опрацьованого матеріалу запропонована вдосконалена технологія виробництва дроту зі сплаву ВТ-15, що дозволяє збільшення виходу годної продукції до 35%. Виконано техніко-економічні розрахунки що підтверджують доцільність оптимізації технології. Проаналізовано потенційні небезпеки та запропоновані заходи щодо їх запобігання.

ВОЛОЧІННЯ, ДРІТ, РОЗШАРУВАННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ОКРИХЧУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ФАКТОРИ, ОБТИСНЕННЯ.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Літературний огляд.....	8
1.1Характеристика вольфраму	8
1.2 Область застосування торійованого вольфраму.....	12
1.3 Застосування вольфраму в електровакуумній техніці.....	18
1.4 Технологія виробництва торійованого вольфраму.....	20
1.5 Ковка штабиків на ротаційно-кувальних машинах.....	21
1.6 Контроль якості дроту.....	22
1.7 Методика дослідження мікроструктури.....	22
1.8 Дефекти дроту.....	23
2 Матеріали та методики досліджень.....	26
2.1 Матеріали які використовували в роботі.....	26
2.2 Сутність процесу волочіння.....	26
2.3 Схема волочильного стану і умови волочіння.....	31
2.4 Характер перебігу металу під час волочіння круглих прутків.....	34
2.5 Напруги під час волочіння круглих прутків.....	38
3 Експериментальна частина.....	43
3.1 Залежність структури, властивостей і показника виходу годної продукції від технології отримання прутків.....	43
3.2 Планування експерименту.....	48
3.3Теоретичні дослідження технології волочіння.....	49
4 Економічна частина.....	59
4.1 Тенденції розвитку ринку вольфрамових сплавів.....	59
4.2 Техніко-економічні розрахунки.....	61

4.2.1. Характеристика продукції.....	61
4.2.2 Економічна ефективність.....	66
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	68
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	68
5.2 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	69
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	76
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	80
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	80
5.4.2 Заходи захисту у надзвичайних ситуаціях.....	82
Висновки.....	83
Перелік посилань.....	84
Додаток А.....	86
Додаток Б.....	87
Додаток В.....	88
Додаток Г.....	89
Додаток Д.....	90
Додаток Е.....	91

ВСТУП

Вольфрам завдяки своїм властивостям багато використовується у промисловості.

Тугоплавкість і пластичність вольфраму роблять його незамінним для ниток розжарювання в освітлювальних приладах, а також в інших вакуумних трубках.

Сплави вольфраму, з огляду на його високу температуру плавлення, отримують методом порошкової металургії. Сплави, що містять вольфрам, відрізняються жароміцних, кислотостійкістю, твердістю і стійкістю до стирання. З них виготовляють хірургічні інструменти, танкову броню, оболонки торпед і снарядів, найбільш важливі деталі літаків і двигунів, контейнери для зберігання радіоактивних речовин. Вольфрам - важливий компонент кращих марок інструментальних сталей.

Вольфрам застосовується у високотемпературних вакуумних печах опору в якості нагрівачів. Сплав вольфраму застосовується як термопари.

Незважаючи на велику кількість досліджень направлених на підвищення властивостей вольфраму до цього часу вихід придатного у виробництві вольфрамового дроту невисокий 15-20% тому дослідження, що проводяться з метою підвищення технологічних властивостей вольфрамових заготовок є актуальним.

Вольфрамовий дріт схильний до розшарування в наклепаному стані і до окрихчування в рекристалізаційному стані тому технологія обирається за принципом розумного компромісу без рекристалізаційного відпалу і значного наклепу заготовок.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Характеристика вольфраму

Вольфрам зустрічається в природі головним чином у вигляді складних з'єднань, зокрема, триокису вольфраму (WO_3) з оксидами заліза і марганцю або кальцію, а іноді свинцю, міді, торію і рідкісноземельних елементів. Промислове значення мають вольфрамат (вольфрамат заліза і марганцю $n\text{FeWO}_4 \cdot m\text{MnWO}_4$ - зокрема, ферберит) і шеелит (вольфрамат кальцію CaWO_4). Вольфрамові мінерали зазвичай вкраплені в гранітні породи, так що середня концентрація вольфраму становить 1-2%.

Вольфрам має найвищі температури плавлення і кипіння. Температура плавлення - 3695 К (3422 °C), кипить при 5828 К (5555 °C) . Густина чистого вольфраму становить 19,25 г/см³. Має парамагнітні властивості (магнітна сприйнятливість $0,32 \cdot 10^{-9}$). Твердість по Брінеллю 4880 МПа, питомий електричний опір при 20 °C - $55 \cdot 10^{-9}$ Ом·м, при 2700 °C - $904 \cdot 10^{-9}$ Ом·м. Швидкість звуку у відпаленому вольфрамі становить 4290 м /с.

Вольфрам є одним з найбільш важких, твердих і тугоплавких металів . У чистому вигляді метал при температурі близько 1600°C добре піддається куванню і може бути витягнутий в тонку нитку. Метал має високу стійкість у вакуумі.

Виявляє валентність від 2 до 6. Найбільш стійкий 6-валентний вольфрам. 3- і 2-валентні з'єднання вольфраму нестійкі і практичного значення не мають.

Вольфрам має високу корозійну стійкість: при кімнатній температурі не змінюється на повітрі; при температурі червоного розжарювання повільно окислюється в оксид вольфраму.

Вольфрам є досить стійким матеріалом у багатьох концентрованих мінеральних кислотах, лугах і розплавлених лужних металах.

Вольфрам отримав широке застосування завдяки своїм унікальним властивостям. У промисловості вольфрам використовується у вигляді чистого металу і в ряді сплавів. Властивості вольфраму наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізичні та механічні властивості вольфраму.

Властивість	Значення
Фізичні властивості	
Атомний номер	74
Атомна маса, а.е.м. (г/моль)	183,84
Атомний діаметр, нм	0,274
Щільність, г/см ³	19,3
Температура плавлення, °С	3380
Температура кипіння, °С	5900
Питома теплоємність, Дж/(г•К)	0,147
Теплопровідність, Вт/(м•К)	129
Електричний опір, мкОм•см	5,5
Коефіцієнт лінійного термічного розширення, 10 ⁻⁶ м/мК	4,32
Механічні властивості	
Модуль Юнга, ГПа	415,0
Модуль зсуву, ГПа	151,0
Коефіцієнт Пуассона	0,29
Тимчасовий опір σ_B , МПа	800-1100
Відносне подовження δ , %	0

До негативних якостей вольфраму слід також віднести його сильну окиснюваність при нагріванні на повітрі (починаючи з 400 °С), відносно велику

густину ($19,3 \text{ г/см}^3$) і високий поперечний переріз захоплення теплових нейтронів (19 барн/атом).

Метал відрізняється високою точкою кипіння (5900°C) і малою швидкістю випаровування навіть при температурі 2000°C . Електропровідність вольфраму майже в три рази нижче електропровідності міді. До властивостей, що обмежує сферу застосування вольфраму, можна віднести велику щільність, високу схильність до ламкості при низьких температурах, малий опір окисленню при невисоких температурах.

За зовнішнім виглядом вольфрам схожий на сталь. Застосовується для створення сплавів з високою міцністю. Обробці (куванню, прокатці і волочінню) вольфрам піддається тільки при нагріванні. Температура нагріву залежить від типу обробки. Наприклад, кування прутків проводиться при нагріванні заготовки до $1450\text{--}1500^\circ\text{C}$.

Присадки різних елементів істотно змінюють властивості вольфраму. Це дає можливість створювати сплави вольфраму з необхідними характеристиками. Наприклад, для деталей електровакуумних приладів, які вимагають застосування непровісаючого вольфраму при температурах до 2900°C і з високою температурою первинної рекристалізації, використовують сплави з кремнелужними або алюмінієвими присадками. Кремнелужні і торієві присадки підвищують температуру рекристалізації і збільшують міцність вольфраму при високих температурах, що дозволяє виготовляти деталі, що працюють при температурі до 2100°C в умовах підвищених механічних навантажень.

Катоди електронних та газорозрядних приладів, гачки і пружини генераторних ламп з метою підвищення емісійних властивостей виготовляють з вольфраму з присадкою оксиду торію (наприклад, марок ВТ-7, ВТ-10, ВТ-15, з вмістом окису торію відповідно 7, 10 і 15%).

Високотемпературні термопари виготовляють із сплавів вольфраму з ренієм. Вольфрам без присадок, в якому допускається підвищений вміст домішок,

застосовують при виготовленні холодних деталей електровакуумних приладів (вводять в скло, траверси). Електроди імпульсних ламп і холодні катоди газорозрядних ламп рекомендується робити зі сплаву вольфраму з нікелем і барієм.

Для роботи при температурах вище 1700 °C слід застосовувати сплави ВВ-2 (вольфрамоніобові). Цікаво відзначити, що при короточасних випробуваннях сплави з вмістом ніобію від 0,5 до 2% мають межу міцності при 1650 °C в 2-2,5 рази вище нелегованого вольфраму. Найбільш міцним є сплав вольфраму з 15% молібдену. Сплави W-Re-ThO₂ мають гарну оброблюваність в порівнянні зі сплавами W - Re; додавання двоокису торію уможливорює таку обробку, як точіння, фрезерування, свердління.[1]

Залежно від механізму зміцнення всі жароміцні вольфрамові сплави можна розділити на сплави з твердосплавним зміцненням:

- сплави зміцнені дисперсними частками надлишкових фаз;
- сплави, що представляють тверді розчини заміщення;
- додаткової зміцнені дисперсною другою фазою.

Найбільш ефективним способом зміцнення сплавів як при кімнатній температурі так і при високих температурах є зміцнення сплавів дисперсними термічно і хімічно стабільними частинками. Зміцнення може бути прямим і непрямим. Пряме зміцнення обумовлено безпосередньою взаємодією дислокацій з дисперсними частинками, які слугують бар'єрами для переміщення дислокацій в процесі пластичної деформації. Непряма взаємодія пов'язана з можливістю стабілізації нерівноважного структурного стану і як наслідок підвищення температури рекристалізації. Як дисперсну фазу, що зміцнює використовують тугоплавкі нітриди, карбіди, оксиди.

Однією з найбільш поширеною добавкою є двоокис торію (ThO₂), який при рівномірному розподілі між частинками вольфраму перешкоджає росту зерна, крім того добавки двоокису торію визначають також характер границь зерен. У

чистому металі вони гладкі і майже прямі, тоді як включення торію надають їм нерівні обриси. У дроті виготовленого з вольфраму, що містить ThO_2 остання чинить механічний опір росту зерна, тому при нагріванні такого дроту вище температури рекристалізації розмір зерна по відношенню до діаметру дроту залишається невеликим. Такий дріт має також високу механічну міцність, так як ThO_2 підвищує опір ковзанню.

Промисловістю випускається ряд сплавів, зміцнених частинками двоокису торію: ВТ7, ВТ10, ВТ15, що відрізняються різною концентрацією ThO_2 1,5 ... 2,0%. Однак ці сплави мають підвищену крихкість.

1.2 Область застосування торійованого вольфраму

Для підвищення високотемпературної міцності і жароміцності вольфрамсплавів їх легують невеликими добавками цирконію (до 0,1-0,2%) і вуглецю (до 0,05%). Вуглець з цирконієм і вольфрамом утворюють високодисперсні карбіди, які зміцнюють сплав.

Карбідне зміцнення використовується також в сплавах вольфраму з добавками ніобію.

Крім карбідного зміцнення, вольфрам зміцнюють введенням невеликих присадок різних тугоплавких і термодинамічно стабільних оксидів (ThO , ZrO , MgO та ін.).

Крім зміцнення двоокис торію знижує енергію виходу електронів. Це явище використовується при застосуванні таких матеріалів псевдосплавів для виготовлення катодів потужних радіоламп.

Сплави типу метал - двоокисел (кермети), отримані методом порошкової металургії, мають особливо високу міцність (рис. 1.3) і жароміцність.

Як видно з наведених даних, найбільш високу міцність при температурі вище 1900 °C мають сплави вольфраму з двоокисом торію.

До 1650 °C досить висока міцність (до 420 ПИа) виявляється у сплаві вольфраму з 0,5% C і 0,8% Nb).

Металевий вольфрам знаходить різноманітне застосування в електро-і рентгенотехніці. З вольфраму виготовляють нитки напруження електричних ламп. Вольфрам для цієї мети особливо придатний завдяки великій тугоплавкості і дуже малої летючості: при температурах близько 2500 °C, при яких працюють нитки розжарювання пружність парів вольфраму не досягає 1 мм рт.ст. З металевого вольфраму виготовляють також нагрівачі для електричних печей, що витримують температури до 3000 °C. Металевий вольфрам застосовується для електрод рентгенівських трубок, для різних деталей електровакуумної апаратури, для радіоприладів, випрямлячів струму і т.д. Тонкі вольфрамові нитки застосовуються в гальванометрах. Подібні ж нитки застосовуються для хірургічних цілей. Нарешті, з металевого вольфраму виготовляються різні спіральні пружини, а також деталі, для яких потрібно матеріал, стійкий по відношенню до різних хімічних впливів.

Солі вольфраму застосовуються для додання вогнестійкості деяким тканинам. Важкий дорогий шовк зобов'язаний своєю красою вольфрамовим солям, якими він просякнуті.

Чисті вольфрамові препарати застосовуються в хімічному аналізі як реактиви на алкалоїди та інші речовини. З'єднання вольфраму застосовуються також як каталізатори.

Однак вольфрам високого ступеня чистоти, отриманий у вигляді монокристала багаторазової зонної очистки, пластичний при кімнатній температурі і має $\delta = 12 - 15 \%$ [1]. Проте на сьогодні не існує технологій які б дозволяли економічно виправдано проводити дану очистку.

Тривала міцність вольфраму при високих температурах доволі висока і її значення наведено в табл. 1.2.

В даний час з вольфраму отримують листи, стрічки, пресовані прутки, труби і дріт. Вихідними заготовками для виробництва напівфабрикатів служать спресовані і спечені з порошку вольфраму брикети (штапики) або зливки, отримані плавкою в електродугових і електронно-променевих печах. Деякі деталі і вироби з вольфраму отримують також напиленням і осадженням з газової фази.

Таблиця 1.2 - Тривала міцність вольфраму при високих температурах

Температура випробування, °С	Тривала міцність вольфраму при високих температурах, МПа				
	10 хв	50 хв	100 хв	200 хв	100 год
1370	—	—	—	—	70
1500	—	—	—	—	60
2250	42	32	28	—	—
2500	22	17	15	13	—
2700	17	14	12	10	—
2800	15	12	10	9	—

Спосіб отримання первинної заготовки чинить істотний вплив на чистоту металу і його якості. Найбільш повне рафінування вольфраму від шкідливих домішок (O_2 , N_2 , C, Fe, Si і ін.) досягається при електронно-променевій плавці.

Однак при цьому методі плавки отримані зливки мають грубозернисту орієнтовану структуру і не придатні для подальшої обробки тиском. По межах великих зерен відбувається концентрація домішкових включень, що служить причиною руйнування злиwkів в процесі їх деформації.

Механічні властивості плавленого вольфраму при кімнатній і високих температурах наведено в табл. 1.3

Тугоплавкі частинки (наприклад частинки карбіду ципконія), які присутні в розплаві, і мають структурну подібність, служать «затравками» при кристалізації зерен вольфраму (рис. 1.1).

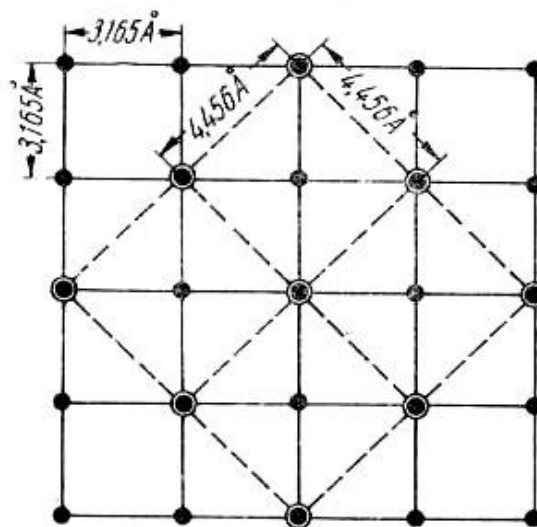
Кристалізація з багатьох центрів, штучно створених в розплаві, сприяє отриманню дрібнозернистої дезорієнтованою структури в зливках.

Таблиця 1.3 - Механічні властивості плавленого вольфраму при кімнатній і високих температурах

Стан матеріалу	Температура, °C	E, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	НВ, МПа
Деформований	20	400000	900	4	8	4150
	400		760	13	50	
	800		650	18	64	
	1200		600	18	65	
	1600		280	25	75	
	2000		90	58	95	
	2200		60	65	98	
	2500		30	65	98	
Рекрісталізований	20	400000	500	0	0	3200
	400		300	3	3	
	800		250	50	75	
	1200		170	55	75	
	1600		140	58	95	
	2000		80	62	98	
	2200		60	65	98	
	2500		30	65	98	

Подрібнення зерна в зливках і перерозподіл карбідних і інших включень призводять до підвищення здатності металу до пластичної деформації.

Крім чистого вольфраму, застосовують також сплави на його основі, які в багатьох випадках мають більш цінні властивості, ніж чистий вольфрам.



----- Решітка W

----- Решітка TaC

Рисунок 1.1 - Схемасполучення кристалічних ґраток вольфраму і карбіду ціпконія (по площині 001)

Склад і механічні властивості деяких вольфрамових сплавів, наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Склад і механічні властивості плавлених вольфрамових сплавів

№	Хімічний склад, %	Стан матеріаллу	Температура випробування, °C	σ_b , МПа	ψ , %	δ , %	E, МПа
1	0,8Nb, інше W	Рекристалізований	20	-	-	-	400000
			1000	200-240	45-48	80-90	360000
			1500	140- 150	48-58	90-95	340000
			1700	120-140	52-58	90-95	320000
			1200	80-85	60-70	95-96	280000
			2250	60	70-72	95-96	-
			2500	20	-	95	-
			2700	10	-	-	-
2	30Re, інше W	Деформований	21	2180	6	-	-
			1095	1195	7	-	-
			1315	560	8	-	-
			1650	210	9	-	-
			1800	140	5,6	-	-
		Рекристалізований	21	1370	5	-	-
			1095	1055	7	-	-
			1315	950	8	-	-
			1650	350	13	-	-
3	25Mo, 0,11Zr, 0,05C інше W	Горячепресований	980	691	-	-	-
			1316	516	-	-	-

1.3 Застосування вольфраму в електровакуумній техніці

Основним споживачем вольфрамового дроту є електровакуумна промисловість. Вольфрамові дроти застосовуються для виготовлення джерел світла і найрізноманітніших деталей електровакуумних приладів, пружин, гачків генераторних ламп і катодами електронних і газорозрядних приладів, де використовується висока міцність і пружність вольфраму з підвищеними емісійними властивостями і властивостями міцності.

Дріт, головним чином, виготовляються з вольфраму або після легування вольфраму спеціальними неметалевими присадками, так як нелегований вольфрам не задовольняє умовам роботи і не забезпечує високу якість і надійність приладів.

Катоди рентгенівських трубок, що дають інтенсивне випромінювання найчастіше виготовляють з вольфраму, так як інтегральна-інтенсивність суцільного спектра рентгенівських променів пропорційно порядковому номеру елемента. Крім того катод рентгенівської трубки сильно нагрівається і при невеликому навантаженні може розплавитися. Таким чином, вольфрам, володіючи високою температурою плавлення служить незамінним матеріалом для катодів рентгенівських трубок.

Як відомо, явище електронної емісії полягає в випаровуванні електронів з поверхні металу. Для видалення від поверхні електрон повинен зробити деяку роботу виходу проти сил утримують його всередині металу. Введення в вольфрам двоокису торію знижує роботу виходу за рахунок утворення на поверхні плівки атомів торію. Робоча температура тарійованого вольфраму близько 1700 оС, щоб полегшити відновлення двоокису торію в металевий торій і зменшити швидкість випаровування атомів торію з поверхні, катод з тарійованого вольфраму піддається карбуванню.

Для цього катод прокладається при температурі близько 2000°C в парах низького тиску якогось вуглеводу (бензину, бензолу і т.д.). в результаті взаємодії в газовому середовищі з вольфрамом утворюється шар карбїду вольфраму, який повинен становити близько 15-18% перерізу дроту. Для проведення катода з тарійованого вольфраму в робочий стан виробляють його активування, які полягають в нагріванні до $2000 \dots 2300^{\circ}\text{C}$. При цьому відбувається часткове відновлення двоокису торію і освіту одноатомного шару торію на поверхні вольфраму. Під час витримки відбувається накопичення атомів торію температура карбїдизації і, особливо, тривала витримка при експлуатації катода приводить до рекристалізації вольфраму, а в результаті, до різкого зниження його міцності.

Таким чином, для забезпечення нормальних умов роботи електровакуумних приладів і джерел світла, забезпечення їх якості та надійності, дріт, що застосовується для виготовлення деталей повинно володіти такими основними властивостями:

- високою формостійкістю (відсутністю повзучості і провисання) при температурах до 2900°C ;

- високою температурою первинної рекристалізації (не нижче 1700°C для тонкого дроту);

- крупнокристалічною структурою з поздовжніми межами у дроті діаметром менше 1 мм після вторинної рекристалізації;

- Високими емісійними властивостями;

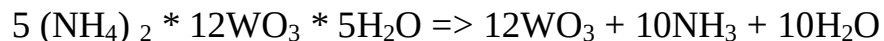
- Мінімальним розпиленням в розряді при високих температурах.

Дріт повинен мати гарну спіралезуємість, легко піддаватися відпалу, формуванню, мати потрібні механічні властивості.

1.4 Технологія виробництва торійованого вольфраму

Для отримання торійованих вольфрамових сплавів застосовується паравольфрамат амонію, що отримується шляхом перекристалізації хімічно чистої вольфрамової кислоти.

Паравольфрамат прожарюється при температурі 800-850 °С до повного розкладання по реакції:

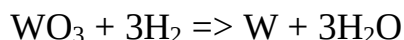


З прожареного вольфрамового ангідриду готують водну суспензію, в яку вводиться розрахована кількість розчину азотнокислого торію ($\text{Th}(\text{NO}_3)_4$) з розрахунку вмісту 1,9 ... 2,2% двоокису торію до металевого вольфраму.

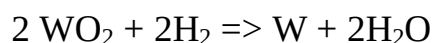
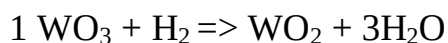
Після введення присадки суспензія випарювання і прожарюється при 800 ... 850 ° С до повного розкладання азотнокислого торію



Для отримання крупнозернистого порошку відновлення ведеться в одну стадію:



Отримання дрібнодисперсних порошків здійснюється в дві стадії:



1.5 Ковка штабиків на ротаційно-кувальних машинах

Зварений штабик міцний, але дуже крихкий і не може деформуватися при кімнатній температурі без руйнування. При більш високих температурах він, однак, стає більш пластичним і при температурі близько 1300 ° С його можна прокувати або прокатати. Вольфрамовий штабик прокочується в пруток шляхом так званого ротаційного кування, яке здійснюється в ротаційно-кувальній машині.

Рівноосні зерна звареного штабика при обробці дробляться і розтягуються вздовж осі дроту, утворюючи волокна.

Ця волокниста структура і надає дроту пластичність. Якщо метал нагрівається вище температури рекристалізації, ця структура замінюється великими рівноосними зернами і дріт стає крихким.

Вольфрам в цьому відношенні не схожий на звичайні метали, які стають під час холодної обробки твердіше і м'якше і пластичніше після рекристалізації, викликаної відпалом. Крихкість рівноосного вольфраму, є характерною особливістю навіть найчистішого металу, важко пояснити, так як окремі кристали вольфраму надзвичайно пластичні.

Вольфрам при звичайних температурах дає міжкристалічний злам. Дріт з рівноосною структурою розривається в поперечному напрямку і злам проходить по межах зерен. Дріт з волокнистої структурою має тенденцію до поздовжнього розщеплення і поділу на окремі волокна, особливо, якщо кування проходило при дуже низькій температурі. З цього можна зробити висновок, що крихкість вольфраму з рівноосною структурою є результатом відсутності зчеплення між сусідніми зернами. Найбільш ймовірною причиною такого крихкості вольфраму є наявність між зернами, навіть в найбільш чистому металі, плівок зі сторонніх матеріалів та, можливо, адсорбованих газів, чим пояснюється слабке міжкристалічне зчеплення.

1.6 Контроль дроту на розшарування

Якість дротів діаметром 1,3 мм після волочіння на ланцюговому стані оцінювали за допомогою визначення кількості розшарованого металу на дефектоскопі ВД-20П. Кількість розшарується визначали у відсотках як відношення довжини дротів з розшарується до загальної довжини металу. Якість дротів після волочіння на блокових станах МВ-3000 і МВ -1000 перевіряли на дефектоскопі ВД-20П7.

1.7 Методика визначення й випробування механічних властивостей

Випробування короточасної міцності проводили по стандарт методиці на розривної машині FM-250. Нагрівання зразків здійснювали в спеціальній трубчастій печі в середовищі аргону. Випробування тривалої міцності проводили в вакуумі на високотемпературної установці маєш-9-66. Нагрівання зразків здійснювали в трубчастій печі з молібденовими нагрівачами. Температуру контролювали платино родієвий термопарою. Короточасну міцність визначали при різних температурах, тривалу міцність - при 1100 ... 1 300 °С. Для випробування використовували зразки довжиною 150 і 250 мм. Відносне звуження зразків дротів вимірювали за допомогою інструментального мікроскопа.

1.8 Дефекти дроту

Дріт, що виготовлений з відступом від вимог, пред'явлених до нього відповідною нормативно-технічною документацією є браком. Брак прийнято ділити на поправний і непоправний. Причина браку це зазвичай недотримання технологічних режимів виготовлення дроту на будь-якій стадії виробничого циклу, а також погана якість вихідного металу. Технічні вимоги до вихідної заготовки та готового дроту обумовлені державними стандартами, галузевими стандартами технічними умовами і стандартами підприємств.

Брак при виготовленні можна згрупувати наступним видом:

1 .Невідповідність геометрії:

- а) відхилення за розмірами (діаметром) перетину;
- б) овальність, що виходить за межі допустимого;
- в) зтяжки (місцеві стоншення дроту по його довжині).

Цей вид браку попереджається і усувається контролем розмірів дроту в процесі волочіння, зміною маршруту волочіння, поліпшенням змащення і т.д.

2. Поверхневі дефекти.

- а) дефекти, що виникли при гарячому переділі металу;
- б) дефекти, що виникли при виробництві дроту.

Дефекти гарячого переділу металу - заходи, задирки, полон, раковини, тріщини, сторонні включення контролюються при вхідному контролі. Дрібні дефекти усуваються окислювальним відпалом, шліфуванням катанки на верстатах типу ВШ-450, обточуванням на верстатах, іглофрезеруванням або додатковим натравлюванням поверхні.

При неправильному веденні технологічних процесів на дроті можуть виникнути поверхневі дефекти: поздовжні і поперечні ризики, задирки, подряпини, тріщини, раковини, рябизна, темні плями, темна забруднена поверхня.

Дефекти усуваються контролем якості поверхні витяжних і обвідних шківів, налаштуванням правильних і рихтувальних пристроїв, застосування якісної підготовки поверхні і перерозподілом обтиснення переходів і переділів.

Іноді контролюється наявність слідів технологічного мастила та забруднень, наприклад, на деяких видах зварювального дроту які є ознакою браку. Такі дефекти поверхні як раковини усуваються якісною заготівлею поверхні дроту-заготовки.

При певних умовах волочіння, може виникнути викривлення дроту і освіту мотка у вигляді, так званої «вісімки». Цей вид браку усувається правильною втомленою оздоблювальних волок.

Дефект за механічними властивостями - це невідповідність вимогам або технічним умов за тимчасовим опором розриву твердості, числом перегинів і скручувань, за величиною їх ставлення подовження і звуження поперечного перерізу, а також наявність тендітних ділянок.

Якщо тимчасовий опір розриву нижче потрібно збільшити величину сумарної деформації.

Такі дефекти катанки як бульбашки, шлакові включення, надриви, сліди усадочної раковини і пухкості, дефект металургійного походження, за яким бракують метал, ці дефекти різко знижують показники поверхні дроту.

Невідповідність мікроструктури.

Це відхилення типу мікроструктури від нормованих по нормативно-технічній документації. Величина і кількість неметалічних включень також може служити предметом забракованого вихідного дроту-заготовки, для виготовлення мікродроту.

Невідповідність металу хімічним складом - дефект металургійного виробництва і не виправляється. Невідповідність фізичних властивостей (електроопору, електропровідності, магнітної проникності, жаростійкості, коефіцієнта теплового розширення і ін.). Ці види дефектів, в першу чергу,

викликаються відхиленнями від заданого хімічного складу сталі або сплаву, невиконанням вимог термообробки і режимів волочіння.

Задачі дослідження

- оцінити вплив технологічних факторів на величину показника виходу годного ВТ-15;
- підвищення ефективності виробництва дроту;
- провести теоретичні дослідження технології волочіння вольфрамового дроту.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали які використовували в роботі

В даній роботі досліджували вольфрамовий сплав ВТ-15 хімічний склад якого наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сплаву ВТ15

Марка сплаву	ThO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Mo
ВТ15	1,5-1,75	0,0011	0,0015	0,003	0,003	0,005

Переробку заготовок у вольфрамовий дріт здійснювали волочінням.

2.2 Сутність процесу волочіння

Волочінням називають процес деформації металу при протягуванні його через отвір, вихідний розмір якого менше початкового поперечного перерізу оброблюваної заготовки.

За допомогою волочіння виготовляють головним чином тонкі сорти дроту діаметром до 0,065 мм, а також прутки і тонкостінні труби точного розміру. У деяких випадках за допомогою волочіння виробляють обробку профільного сортаменту.

Прокаткою виготовляють дріт діаметром не менше 5 мм; для виготовлення більш тонких сортів вдаються до волочіння. Прокаткою тонкі сорти не виготовляють внаслідок швидкого охолодження металу.

Процес волочіння схематично представлений на рис. 3.1, а.

На рис. 3.1, б представлені три типи отворів, які можуть бути зроблені в волочильній дошці. Найкращою є форма А; вона дає можливість простягає металу поступово зменшувати свою перетин, а також знижує до мінімуму виникає під час волочіння силу тертя.

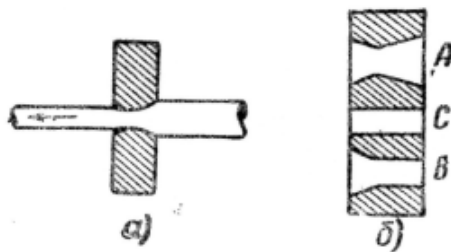


Рисунок 2.1 -Процес волочіння: а- схема волочіння; б - волочильні отвори.

Волочильні отвори, звані очками, волоками, фільєрами, можуть бути зроблені або в самій волочильній дошці, або в окремих деталях, що вставляються в дошку; в останньому випадку дошка може бути зроблена з м'якої сталі.

Якщо очі роблять в самих дошках, в якості матеріалу для них застосовується високовуглецева сталь, хромистая або хромовольфрамовая, спеціальний хромовий чавун.

Як матеріал для вставних очок застосовують спеціальну сталь, тверді сплави, алмаз, агат.

Коефіцієнт потоншення.

Відношення діаметра дроту після пропускання через волочильне отвір до діаметру її до пропуску називається коефіцієнтом потоншення

$$K = \frac{d_1}{d}$$

де d_1 - діаметр дроту після волочіння;

d - діаметр дроту до волочіння;

K - коефіцієнт потоншення.

Чим менше величина K , тим при меншій кількості пропусків через волочильні отвори може бути отримана дрід заданого діаметра з одного і того ж вихідного матеріалу. Але коефіцієнт стоншення не може бути зменшено довільно, так як в разі переходу його величини за певний мінімум дрід розірветься.

Для визначення мінімальної величини коефіцієнта потоншення потрібно чітко уявити собі характер деформацій, які долають металом, що проходить через волочильне отвір.

Частина дроту, що знаходиться в волочильному отворі, піддається стисненню з боку конуса отвору; цей тиск має бути більше межі пружності матеріалу дроту; частина ж дроту, що знаходиться між волочильної дошкою і тягне механізмом, відчуває розтягування; величина розтягуючого зусилля не повинна перевищувати межі пружності матеріалу дроту.

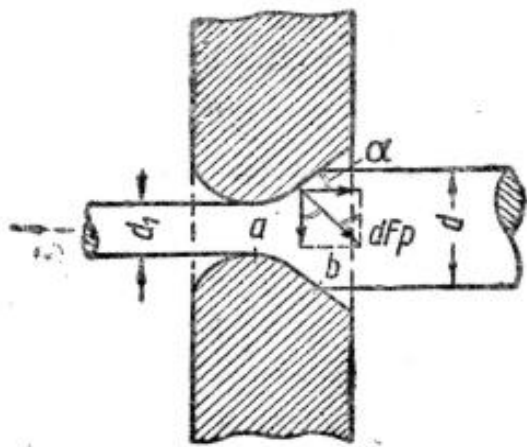


Рисунок 2.2 – Схема деформації металу при волочіннію

Позначимо через d діаметр дроту до проходження через волочильне отвір і d_1 після проходження через нього (рис. 3.2), z - напруга, що випробовується дротом в розтягується частини, p - тиск, що випробовується дротом з боку конуса, μ - коефіцієнт тертя між матеріалами дроту і волочильний дошки; тоді отримаємо наступне рівність:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} z = \sum dF p \sin a + \sum dF p \cos a \cdot \mu.$$

Так як E, Fd є бічну поверхню дотичної з дротом частини конуса, то

$$\sum dF = \frac{d+d_1}{2} \pi ab = \frac{d+d_1}{2} \pi \frac{d-d_1}{2 \sin a} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2-d_1^2}{\sin a}.$$

Представляючи замість $\sum dF$ знайдений вираз, отримаємо

$$\frac{\pi d_1^2}{4} z = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2) p (1 + \mu \operatorname{ctg} a).$$

Звідси знайдемо

$$\frac{d}{d_1} = \sqrt{1 + \frac{z}{p} \cdot \frac{1}{1 + \mu \operatorname{ctg} a}}$$

При волочіння дроту з м'якої сталі можна прийняти $z = 20$, $p = 40$ і $\mu = 0,1$; тоді при $a = 15^\circ$

$$\frac{d_1}{d} = 0,86.$$

Для більш жорсткого матеріалу величина K зростає до 0,95.

Визначення числа пропусків через волочильні отвори.

Прийнявши величину D_0 постійної під час волочіння певного сорту дроту, можна, виходячи з початкового та кінцевого діаметрів дроту і величини K , визначити число пропусків дроту через волочильні отвори для отримання заданого кінцевого діаметра.

Позначаючи діаметри очок, через які дріт буде послідовно пропускатися, буквами $d_1, d_2 \dots, d_n$, маємо

$$d_1 = Kd; d_2 = d_1 K = dK^2; d_3 = dK^3, \dots d_n = dK^n,$$

Звідси

$$K^n = \frac{d_n}{d}$$

або

$$n \lg K = \lg d_n - \lg d,$$

або

$$n = \frac{\lg d_n - \lg d}{\lg K}.$$

Зусилля, потрібне для волочіння, зростає зі зменшенням коефіцієнта потоншення. Чим більше змінюється перетин дроту в процесі волочіння, тим більше потрібне для волочіння зусилля; воно може бути визначено за формулою

$$P = kF_1 \ln \frac{F_0}{F_1} (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)$$

де k - опір матеріалу деформації, прийняте рівним середньому арифметичному з міцності його до і після волочіння (механічні властивості матеріалу після волочіння дещо змінюються внаслідок наклепу);

F_1 - площа перетину дроту після волочіння;

F_0 - площа перетину дроту до волочіння;

μ - коефіцієнт тертя;

α - кут волочильного очка .

2.3 Схема волочильного стану і умови волочіння

Подальше зменшення перетину дроту проводиться протяжкою через філь'єри. Точний діаметр прутка, що надходить після кування не суттєвий і зазвичай залежить від розміру вихідного штабика.

Алмазні філь'єри широко застосовуються для протягання дроту всіх розмірів нижче 0,25-0,3 мм в діаметрі.

Для виготовлення перехідних філь'єр більшого розміру в даний час застосовують тверді сплави. Однак для вихідних розмірів використовують і алмазні філь'єри, так як вони дають найкращу поверхню і більш рівномірний діаметр. Застосовуються філь'єри з карбіду вольфраму, але менш 0,25 мм застосовуються рідко через швидке зношення.

Філь'єри зміцнюються в сталевих оправках за допомогою тугоплавкого припою, який надійно утримує філь'єру при високих температурах. На рис. 2.3 показана схема алмазної філь'єри.

Перехід від кування до протяжки є найбільш відповідальною і небезпечною стадією процесу обробки, на якій часто виникає розшарування і тріщини. Пруток,

прокувати при низькій температурі може бути більш пластичний, але, як правило, він менш придатний для протягання, ніж більш крихкий матеріал, отриманий куванням при високих температурах. Тенденція до розшарування зменшується, якщо дріт передпроходженням через філь'єру нагріти до температури 1000... 1100 °С. При зменшенні діаметра дроту до 0,1 мм температура нагріву поступово знижується до 600-700 °С. Філь'єри великого розміру для запобігання від перегріву монтуються в Водохолодження блоці. Однак на наступних стадіях протягання для підтримки температури філь'єри близько 400 °С необхідно підігрівати блок з філь'єри.

В даному дослідженні волочіння вольфрамового дроту від діаметра 2,75 до 1,3 мм дроту на ланцюговому стані ЦС28 з газовою піччю, швидкість волочіння 3 ... 18 м / хв. Як робочий інструмент використовувалися філь'єри з твердого сплаву ВК-6.

Температуру нагрівання під волочіння зі зменшенням діаметра дротів знижується з 1100 °С до 950 °С. Швидкість волочіння 9 м / хв.

Подальше волочіння вольфрамових дротів до діаметра 0,5 мм проводили на блокових МВ-3000 і МВ-1000 с нагріванням в газових печах. Температура волочіння в залежності від діаметра становила 900-750 °С. Швидкість волочіння 9 ... 12 м / хв. Волочіння до діаметра 0,049 мм здійснювали на волочильних машинах МВ500, МВ300, МВ100. При волочінні дротів діаметром менше 0,3 мм використовували філь'єру зі штучних алмазу. Нагрівання дротів перед волочінням здійснювали в електричній печі з стрічковим нагрівачем з нікель-хромового сплаву. Температура волочіння в міру зменшення діаметра дротів у діаметрах 1,6 і 1,2 мм проводили в атмосфері водню, швидкість подачі дроту 1,5..1,3 м / хв, для запобігання розшарування і обриву дротів під час волочіння до малих діаметрів проводили проміжні відпали в діаметрах 0,520 / 0,500; 0,300 / 0,280; 0,190 / 0,180 і 0,120 / 0,112 мм. Відпал дротів для зняття внутрішніх напружень проводили при

температурі 1400-1550 °С в електричних печах з молибденовими стрічковими нагрівальними елементами в атмосфері водню.

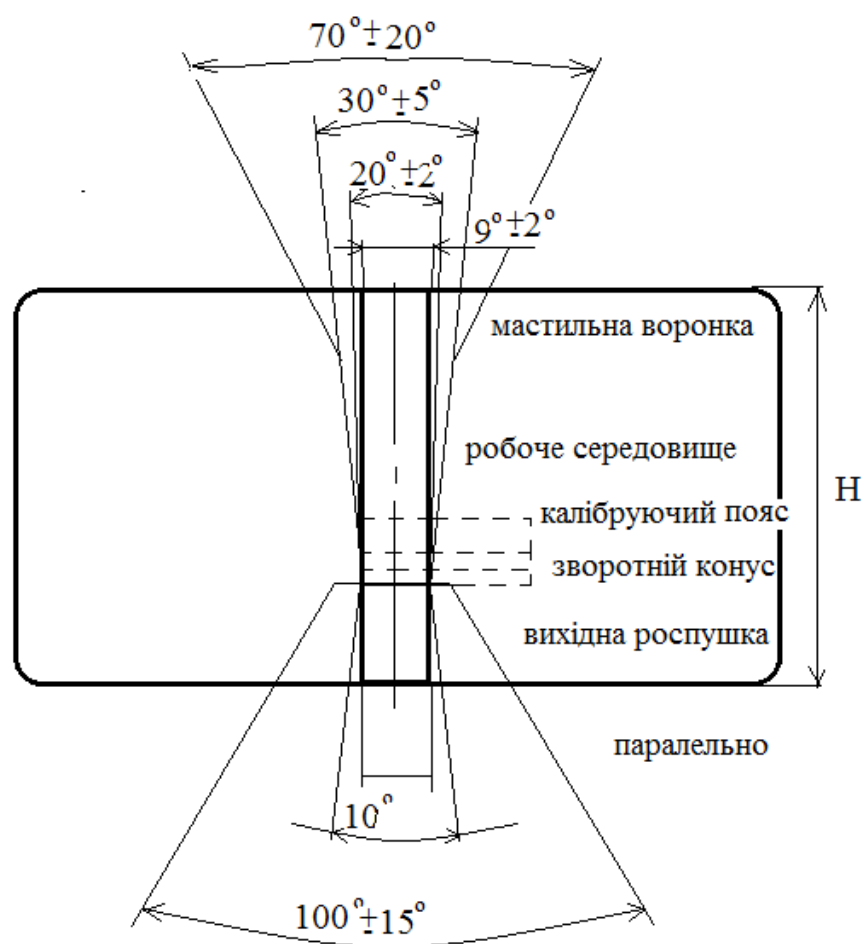
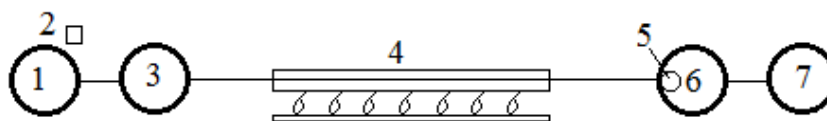


Рисунок 2.3 – Схема алмазної філь'єри для протяжки вольфрамового дроту.

Спосіб підігріву залежить від діаметра дроту м швидкості протягання. В даний час є багато волочильних машин, але всі вони побудовані за схемою зображеною на рис.2.4.



1 – падаючий барабан; 2 – гальма; 3 – ємність з мастилом; 4 – підігрівач; 5 – філь’єра; 6 – підігрівальний блок з філь’єрою

Рисунок 2.4 – Схема волочильної машини для вольфрамової проволочки

2.4 Характер перебігу металу під час волочіння круглих прутків.

За характером перебігу металу відрізняються схеми волочіння суцільних профілів круглого, прямокутного і складного поперечного перерізу

Найбільш проста для аналізу деформація круглої заготовки в круглій монолітній волоці (рис. 2.5) з внутрішнім каналом, що має:

- конусну вхідну частину, де на ділянці l_1 відбувається основна деформація;

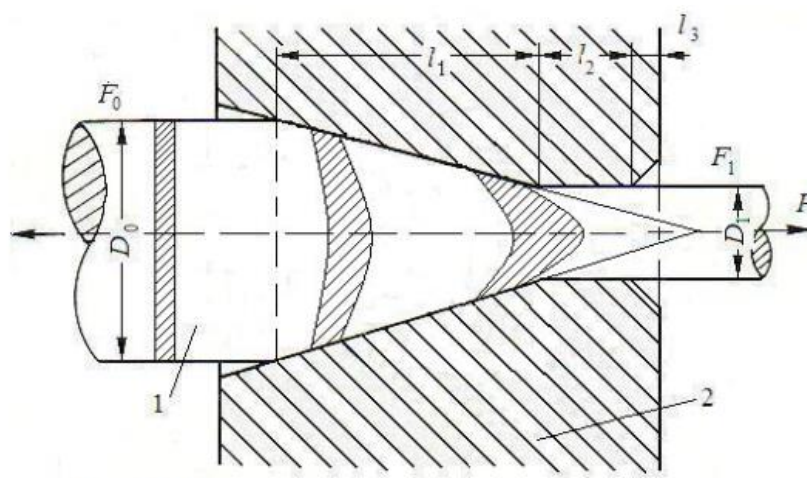


Рисунок 2.5 - Схема деформації металу при волочінні суцільного круглого прутка в круглій волоці. 1 - пруток; 2 - волока.

- калібруюча ділянка довжиною l_2 , остаточно формує розміри і якість поверхні готового дроту;
- вихідна ділянка l_3 , що запобігає механічним пошкодженням кромки калібруючої ділянки.

За дослідженням деформації в такій волоці найчастіше використовується метод координатної сітки. За спотворення кожного осередку сітки при перебігу металу обчислюються всі компоненти тензора деформації в цьому осередку (відносні подовження ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z і зрушення γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx}), а також інтенсивність деформації ϵ_i . На підставі аналізу цих величин встановлено, що деформація при волочінні протікає нерівномірно [8].

Розрізняються геометричне і фактичне осередки деформації. межами геометричного осередку служать вертикальні перетини входу і виходу металу з волоки. Але пластична деформація починається до входу в волоку і закінчується на деякій відстані після перетину виходу, тому зона пластичної деформації, що включає геометричний осередок і неконтактні пластичні зони, є фактичним осередком. Зона неконтактної пластичної деформації до перетину входу називається задній, відповідно, така ж зона після перетину виходу буде називатися передньою. Межі неконтактних пластичних зон експериментально і теоретично визначити важко. Протяжність їх при звичайному волочінні мала і рідко перевищує 5%, однак при великому протинягу і підвищених кутах волоки, великих обтисненнях і коефіцієнтах тертя може становити на вході до 50%, а на виході (при відсутності калібруючої ділянки) більше 50% довжини геометричного осередку деформації.

Спостерігаються наступні закономірності:

1. Центральні шари металу випереджають периферійні. Якщо до деформації виділити в металі вертикальну площину, то вже до перетину входу вона почне викривлятися куполом у напрямку волочіння. В межах геометричного осередку деформації через тертя на контакті поверхневні шари загальмовуються, і

різниця в швидкості течії цих та внутрішніх шарів збільшується. Виділена площа при русі по каналу волоки викривляється все більше.

2. У задній зоні неконтактної пластичної деформації діаметр прутка повинен зменшуватися за рахунок того, що поверхневі шари примусово додатково витягуються за рахунок взаємодії з внутрішніми шарами, що мають велику витяжку. Однак при великих кутах конусної ділянки волоки і великих одиничних обтисненнях в цій зоні діаметр вихідного прутка може збільшуватися. Це пояснюється тим, що при великих обтисненнях зростають сили контактного тертя, тому поверхневі шари металу загальмовуються і утворюють напливи перед перетином входу в волоку. У загальному випадку в перетині входу в волоку діаметр дроту НЕ порівняно з початковим діаметром D_0 і може як збільшуватися, так і зменшуватися в залежності від умов волочіння.

3. Аналіз спотворення осередків координатної сітки показує, що в зонах l_1 і l_2 осьові деформації і швидкості деформацій зростають від перетину входу до перетину виходу металу з волоки. швидкість осьового руху частинок металу зростає від периферійних шарів до центральних. На калібром ділянці деформації і швидкості деформації поступово вирівнюються як по довжині, так і по перетину дроту, але загальний характер деформації зберігається таким же, як і в конусної частини. У задній зоні неконтактної деформації, відбувається поступове згасання осьових пластичних деформацій. ця зона зазвичай коротка, тому часто вважають, що деформації переходять в пружні відразу після перетину виходу з калібру ділянки.

4. Найбільша інтенсивність деформації формується в конусної частини волоки на ділянці l_1 . Інтенсивність деформації і її нерівномірність зростають в осьовому напрямку, а в радіальному напрямку вона більш рівномірна і убиває від периферійних шарів до центральних. На калібром ділянці інтенсивність деформації зменшується, і при реально прийнятих довжинах ділянки l_2 інтенсивність деформації майже вирівнюється. За перетином виходу металу з

калібрує ділянки волоки в передній внеконтактной зоні інтенсивність деформації швидко падає. Можна вважати, що в перерізі виходу металу з калібрує ділянки інтенсивність деформацій близька до нуля.

5. Спочатку прямі кути осередків координатної сітки при деформації змінюються, що свідчить про наявність зсувних деформацій у всіх зонах і шарах металу. Найбільші зрушення спостерігаються в приконттактних шарах, а в осевій зоні прутка вони майже дорівнюють нулю.

Величина зсувних деформацій у всіх шарах зростає зі збільшенням кута волоки α і обтиску. Зрушення зростають також при збільшенні коефіцієнта тертя, на який істотний вплив надають чистота обробки поверхні каналу волоки і простягається профілю, а також якість мастила.

6. Якщо одну і ту ж сумарну деформацію отримувати за кілька пропусків, то з ростом дробності деформації (зі збільшенням кількості пропусків і зниженням деформації в кожному з них) нерівномірність деформації металу збільшується; зростають значення зрушень; різниця у властивостях периферійних і центральних шарів металу збільшується.

7. Периферійні шари металу деформуються під дією радіальних, окружних і осевих напружень σ_r , σ_θ і σ_θ при наявності значних зсувних напружень τ . Осі координат цих напружень не збігаються з осями 1, 2, 3 головних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 , діючих на ті ж обсяги. (Як відомо, в головних напрямках зсувні деформації відсутні). Головні осі елементарних обсягів розташовується під деяким кутом до осей координат l , r , θ , одна з яких - вісь волочіння. Головні осі в процесі деформації повертаються, наближаючись до напрямку осей координат. При русі до центральним верствам кут між ними зменшується, і на осі волочіння напрямки головних нормальних напружень σ_1 , σ_2 і σ_3 збігаються з напрямом осей координат.

У напрямку головних напружень σ_1 , σ_2 і σ_3 (а не в напрямку осей координат) формується текстура металу, тобто переважна спрямованість

кристалографічних площин. З текстурою пов'язана анізотропія властивостей металу за різними напрямками.

8. У осьовій зоні зерна металу деформується головним чином під дією осьових розтягуючих напружень майже при повній відсутності окружних, радіальних і зсувних напружень. При цьому зерна витягуються в напрямку осі волочіння, створюючи анізотропію властивостей металу, тобто різницю у властивостях уздовж і поперек напрямку волочіння. Анізотропія властивостей металу в осьовій зоні вище, ніж в периферійних шарах.

2.5 Напруги під час волочіння круглих прутків

Якщо всередині геометричного осередку деформації виділити елементарний кубик (рис. 2.6), то видно, що на нього діють осьові напруження розтягу σ_l ; стискають радіальні напруги σ_r ; стискають тангенціальні напруги σ_θ , спрямовані перпендикулярно радіусів; дотичні напруження τ , що діють по гранях елементарного кубіка.

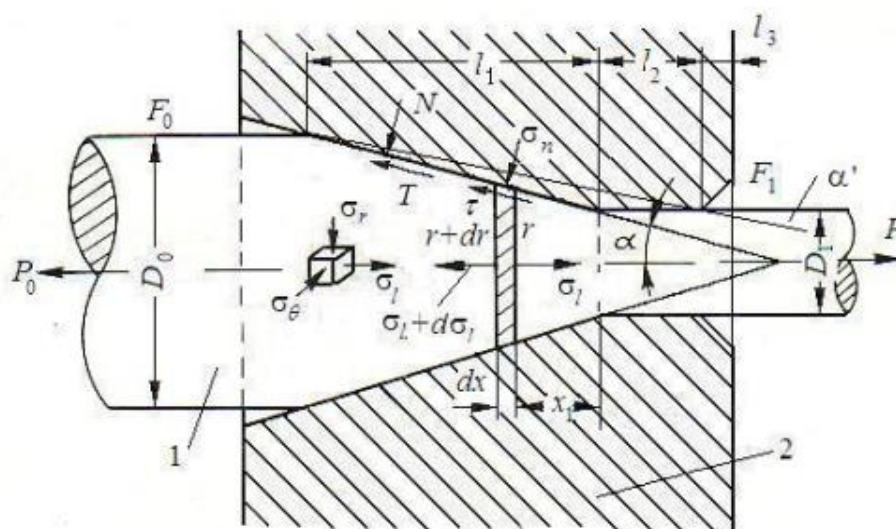


Рисунок 2.6- Напруження під час волочіння

Для полегшення теоретичного аналізу напружено-деформованого стану металу зазвичай фактичну картину значно спрощують: зсувними напруженнями нехтують, радіальне σ_r (в полярних координатах) і поздовжнє σ_l напруги вважають головними, перше з яких мінімально, а друге максимально, в цьому випадку тангенціальні напруги σ_θ в аналізі не беруть участь.

На ділянці l_1 напруга σ_r стискує, а σ_l - розтягне. Ці напруги в кожній точці осередку деформації пов'язані між собою умовою пластичної течії, яке запишемо у вигляді умови Тріска:

$$|\Sigma_l| - |\sigma_r| = B_{\sigma_T}, \quad (2.1)$$

де β - коефіцієнт Лодє, який змінюється від 1,0 до 1,155, умовно можна прийняти його рівним 1,0; σ_T - межа плинності металу під час волочіння (його приймають рівним межі текучості при розтягуванні), який збільшується по довжині осередку деформації через наклепу згідно із законом (2.2).

(Волочіння проводиться в холодному стані).

Часто в розрахунках межа плинності при волочінні приймають величиною постійною по всьому вогнищу деформації і дорівнює середньому значенню

$$\sigma_{T\text{cp}} = 0,5 (\sigma_{T0} + \sigma_{T1}), \quad (2.2)$$

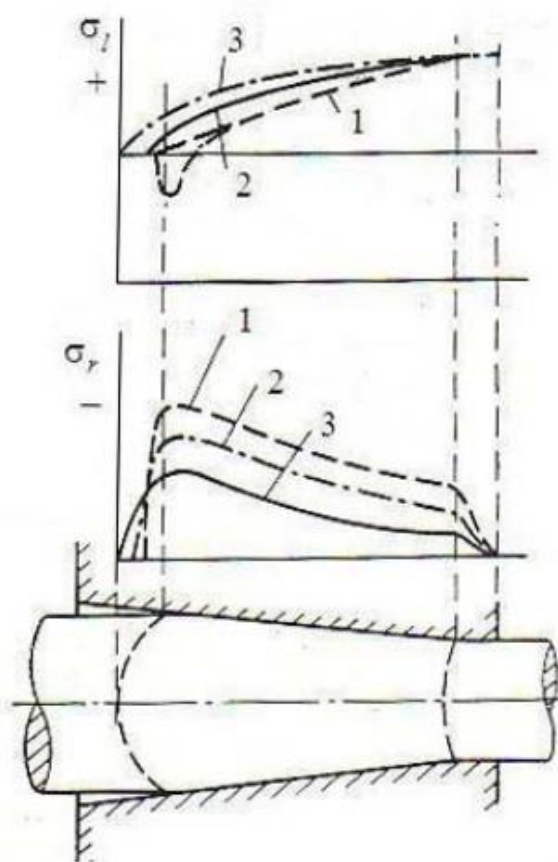
де σ_{T0} і σ_{T1} - межі плинності до і після волочіння.

З урахуванням знака напружень рівність (2.2) можна записати у вигляді:

$$\sigma_l + \sigma_r = \sigma_{T\text{cp}} = \text{const} \quad (2.3)$$

Звідси випливає, що всі технологічні чинники, що збільшують значення одного з напруг, призводять до зниження іншого.

На рис. 2.7 показаний характер зміни напружень σ_l і σ_r в каналі волоки. Численні експериментальні та теоретичні дослідження показали, що радіальні напруги σ_r завжди стискають (знак «-»). Вони зростають в задній внеконтактной зоні до перетину входу металу в волоку, потім в осередку деформації безперервно знижуються і в передній внеконтактной зоні (включаючи калібруючий ділянку волоки) повністю загасають.



1 - на поверхні; 2 - в середньому шарі; 3 - в центрі; «+» - розтягнення; «-» - стиснення .

Рисунок 2.7 - Поздовжні σ_l і радіальні σ_r напруги під час волочіння.

Максимальні радіальні напруги спостерігаються в перетині входу, і це визначає найбільший знос волоки в цьому перетині. В площині виходу металу з

конусної частини волоки спостерігається невелике локальний максимум, тому в загальному вигляді епіюра напружень σ_r має сідлообразна вид з наявністю максимумів на вході і виході. У напрямку від поверхні контакту до центру прутка радіальні напруги знижуються. В.Л. Колмогоров теоретично і експериментально показав, що максимальні радіальні напруги в поверхневій точці перетину входу металу в волоку можуть на 5-40% перевищувати межу плинності металу. Очевидно, важливі всі заходи, що знижують значення максимуму радіальних напружень в цій точці.

Поздовжні напруження σ_l є розтягують (знак +). Лише на невеликій ділянці поблизу перетину входу поверхневі поздовжні напруги можуть бути стискають і тільки при великих кутах волоки і великих одиничних обтиснутими. Напруження σ_l зростають в передній внеконтактной зоні, потім продовжують рости в конусної і калібрує частинах волоки. На виході з останньої вони досягають свого максимального значення, рівного напрузі волочіння σ_1 , яке повинно бути докладено до що тягне пристрою волочильного стану.

Вогнища деформації поздовжні напруження σ_l знижуються у напрямку від центральних шарів до периферійних. Максимальні поздовжні напруження спостерігаються в центральних шарах в перерізі виходу металу з конусної частини волоки. У перетині виходу поздовжні напруження в перетині дроту вирівнюються і стають рівними напрузі волочіння σ_1 : $\sigma_l = \sigma_1$. сила волочіння $P = \sigma_1 F_1$.

Напруга σ_1 на виході з волоки не повинна перевищувати значення вихідної межі текучості металу σ_{T1} , інакше метал розірветься між волокою і тягне пристроєм.

На практиці дотримуються наступних значень коефіцієнта запасу γ :

прутки і товстостінні труби: 1,35 - 1,4,

тонкостінні труби: 1,6,

дріт 1 мм і вище: 1,4,

дріт 1,0 - 0,4 мм: 1,5,

дріт 0,4 - 0,1 мм: 1,6,

дріт 0,1 - 0,05 мм: 1,8,

дріт 0,05 - 0,015 мм: 2,0.

Чим вище його значення, тим менше небезпека розриву дроту під час волочіння.

Напруги розтягу в центральних шарах металу небезпечні не тільки тому, що призводять до обриву дроту при волочінні. Усередині прутка можуть утворитися внутрішні каверни, які небезпечні тим, щоневидимі і можуть розкритися вже в готовому виробі.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Залежність структури, властивостей і показника виходу годної продукції від технології отримання прутків

Характерною особливістю мікроструктури прутків, отриманих за умовами різних дослідів (рис. 3.1), є наявність великих зерен, кількість яких визначається дисперсністю частинок двоокису торію, температурою відпалу і з кількістю яких добре корелює значення кута закручування (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Залежність структури, властивостей і показника виходу годної продукції (певного при контролі дроту продеформованної до діаметра 1,3 мм) від технології отримання прутків діаметром 2,5 мм

№ дослід у	Еквівалентний діаметр порошку, мкм	Приведенна температура відпалу, (долівід температури плавлення)	Характеристика часток двоокису торію	Кут закручування, °	Кількість крупних зерен, %	Витя, %
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. 3.1 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 3,1 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. 3.1 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).

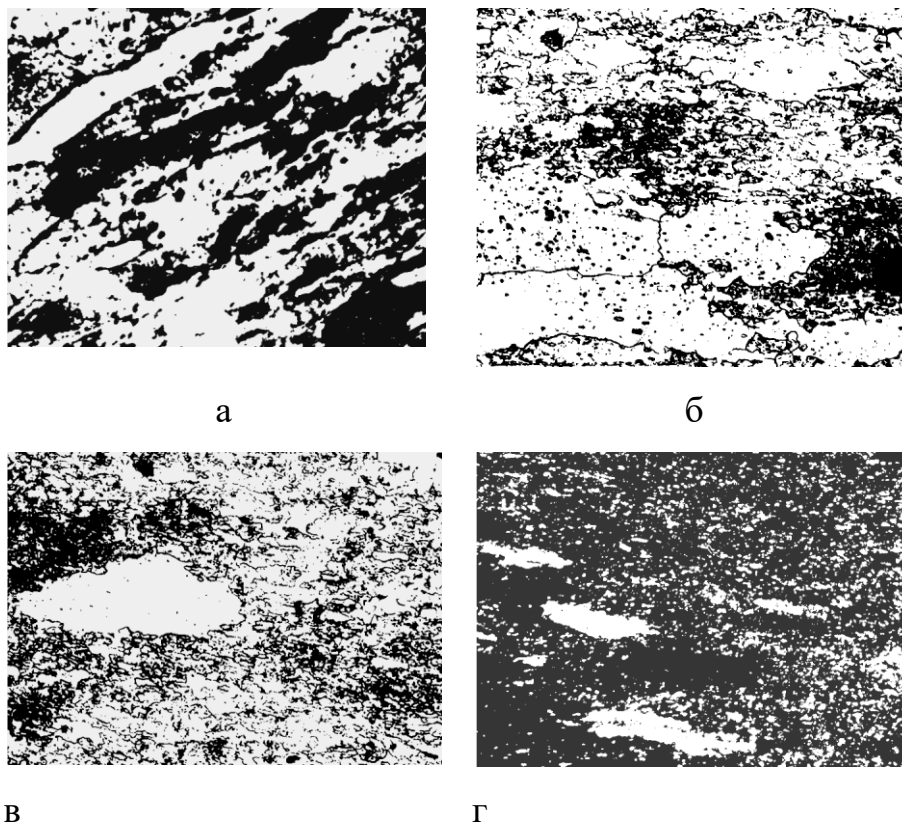


Рисунок 3.1 Микроструктура дроту діаметром 2,5 мм, $\times 400$;

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 дріт тягнули в обидві партії, метал додатково піддається вигоряння (при діаметрі 1,6 мм), режим якого був обраний експериментальним способом на найвищу пластичності

матеріалу. Отриману дріт контролювалися для розшарування, яка виявила, що коефіцієнт у досліді 2 був 0,7, у досліді 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 кристалічною 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 кристалічну структуру, а також їх нагард, який виникає під час деформації, зменшити як необхідно вводити в технологію перетягування дористнення.

Як видно з вищесказаного, великі частинки ThO_2 , при деформаційній перебудові простягнулися по осі дроту і розриваються з утворенням додаткових пор в структурі матеріалу.

Така тенденція зберігається для частинок розмірами від 200 нм і крупніше (до 1,5 мкм). Частинки розміром менше 200 нм тільки витягуються уздовж осі проволочки, не створюючи пор і, верогідно, не сприяють расслою. Аналогічно діючі поримайжезавжди 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.

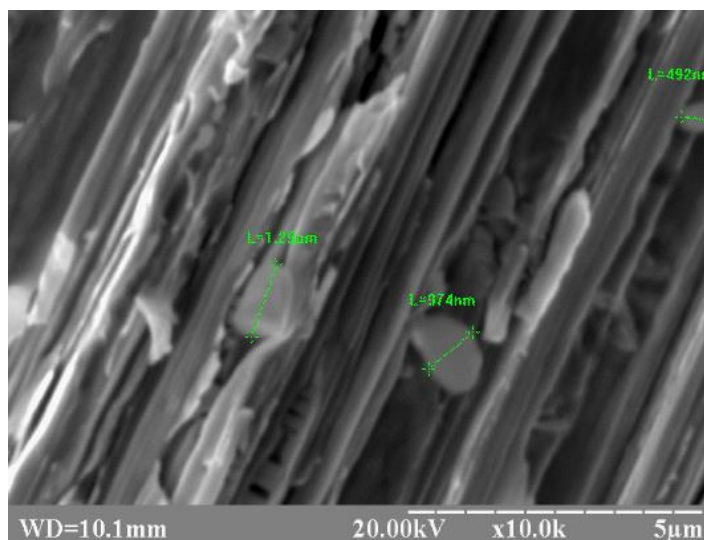


Рисунок 3.2– Структура сплаву BT15

Мікроструктуру зразків виявляли в реактиві Муракамі 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 реактиві Муракамі при напрузі 5 вольт. Для виготовлення фольги, від зразків відокремлювали шайби товщиною 1 мм, потім їх стоншую 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 / см². 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 Планування експерименту

Ефективність сучасних мехатронних систем значною мірою залежить від параметрів існуючих виконавчих пристроїв та можливостей автоматизованого керування ними. Створення нових та вдосконалення існуючих пристроїв до систем автоматики вимагає проведення великої кількості експериментальних досліджень. Оптимізувати їх кількість та забезпечити необхідну достовірність отриманих результатів дозволяють математичні методи планування експерименту [1-3]. Планування експерименту може застосовуватись як для однофакторного експерименту, так і для багатофакторного [2, 4]. Планування однофакторного експерименту передбачає варіювання лише одного фактору на декількох рівнях. При цьому всі інші фактори залишаються незмінними. Тобто надається можливість дослідити залежність характеристик пристрою тільки від одного фактору. Це в подальшому може призвести до прийняття хибних рекомендацій та рішень. При застосуванні планування в багатофакторному експерименті передбачається варіювання одночасно декількома параметрами. В цьому випадку планування дає можливість всебічно проаналізувати експеримент, визначити: величини задіяних факторів та їх якісний вплив на характеристики і т.п. Тобто, планування багатофакторного експерименту представляє собою розширений та більш раціональний підхід до проведення експериментальних досліджень складних процесів.

3.3 Теоретичні дослідження технології волочіння

Для встановлення кількісного зв'язку між параметром оптимізації і змінними факторами використовували метод планування експерименту. Параметром оптимізації служив показник вихід годного. Як змінні фактори були обрані наступні: температура волочіння – x_1 ; обтиснення при здійсненні першого переходу – x_2 ; обтиснення при наступних переходах – x_3 . Оскільки інтервали варіювання факторів цікавили досить широкі і експеримент бажано було провести на одній партії прутків зразу планували отримати математичну модель другого ступеню. Тому для проведення експерименту була обрана матриця некомпозиційного плану другого порядку для трьох факторів (3^3). Обробку результатів здійснювали по методиці описаній в [10].

В роботі була поставлена задача: оцінити вплив технологічних факторів на величину показника виходу годного ВТ-15.

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

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. 3.6), отримані моделі, що характеризують залежність показника виходу годного від досліджуваних факторів процесу волочіння. Ці моделі представлені поліномами другого ступеня.

Таблиця 3.2 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
			верхній +1	основний 0	нижній -1
T - температура волочіння, °С	x_1	100	1000	900	800
ψ - обтиснення за 1-ий перехід, %	x_2	10	40	30	20
ψ_k - обтиснення за наступні переходи, %	x_3	10	30	20	10

Коефіцієнти моделей розраховують за допомогою метода найменших квадратів за формулами, які для чотирьох факторів мають вигляд:

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

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

де n_0 - число дослідів в центрі плану;

u - номер паралельного дослідів в центрі плану;

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

N - число дослідів в матриці планування;

j - номер дослідів 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;

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

Таблиця 3.3 – Матриця планування в кодованих величинах та результати дослідів

Номер дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	2	3	4	5	6
1	1	+	+	0	34,4
2	1	+	-	0	26,7
3	1	-	+	0	24,3
4	1	-	-	0	16,8
5	1	0	0	0	30,2
6	1	+	0	+	33,4
7	1	+	0	-	27,8
8	1	-	0	+	23,7
9	1	-	0	-	17,8
10	1	0	0	0	30,1
11	1	0	+	+	32,0
12	1	0	+	-	26,3
13	1	0	-	+	24,3
14	1	0	-	-	18,3
15	1	0	0	0	29,8

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

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1} = 0,043,$$

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

Розрахункові данні наведено в табл.3.4 та 3.5

Таблица 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	34,4	34,4	0	34,4	0	0	34,4	34,4	0
2	26,7	-26,7	0	-26,7	0	0	26,7	26,7	0
3	-24,3	24,3	0	-24,3	0	0	24,3	24,3	0
4	-16,8	-16,8	0	16,8	0	0	16,8	16,8	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	33,4	0	33,4	0	33,4	0	33,4	0	33,4
7	27,8	0	-27,8	0	-27,8	0	27,8	0	27,8
8	-23,7	0	23,7	0	-23,7	0	23,7	0	23,7
9	-18,8	0	-18,8	0	18,8	0	18,8	0	18,8
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	32	32	0	0	32	0	32	32
12	0	26,3	-26,3	0	0	-26,3	0	26,3	26,3
13	0	-24,3	24,3	0	0	-24,3	0	24,3	24,3
14	0	-18,3	-18,3	0	0	18,3	0	18,3	18,3
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сумма	38,7	30,9	22,2	0,2	0,7	-0,3	205,9	203,1	204,6

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}
					-	-	-	-
4,8375	3,8625	2,775	0,05	0,175	0,075	1,89167	2,59167	2,21667

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

$$S^2\{b_0\} = \frac{1}{n_0} S_y^2 = (1/3) \cdot 0,043 = 0,0143 ;$$

$$S^2\{b_i\} = A S_y^2 = (1/8) \cdot 0,043 = 0,0053;$$

$$S^2\{b_{il}\} = D S_y^2 = (1/4) \cdot 0,043 = 0,0107;$$

$$S^2\{b_{ii}\} = B_1 S_y^2 = (13/48) \cdot 0,043 = 0,0116.$$

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.

Довірчий інтервал Δb_0 коефіцієнта b_0 знаходимо за виразом:

$$\Delta b_0 = \pm t_T S\{b_0\} = \pm 0,1195 \cdot 4,3 = \pm 0,5142.$$

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

$$S\{b_0\} = \sqrt{S^2\{b_0\}} = \sqrt{0,0143} = 0,1195.$$

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

Аналогічно визначаємо довірчі інтервали коефіцієнтів b_i , b_{il} , b_{ii} :

$$\Delta b_i = \pm t_T S\{b_i\} = \pm 4.3 \cdot 0,0053 = \pm 0,02279;$$

$$\Delta b_{il} = \pm t_T S\{b_{il}\} = \pm 4.3 \cdot 0,0107 = \pm 0,04601;$$

$$\Delta b_{ii} = \pm t_T S\{b_{ii}\} = \pm 4.3 \cdot 0,0116 = \pm 0,04988.$$

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:

$$Y = 30,03 + 4,83 \cdot x_1 + 3,862 \cdot x_2 + 2,775 \cdot x_3 - 1,89 \cdot x_1^2 - 2,59 \cdot x_2^2 - 2,21 \cdot x_3^2$$

Розрахункове значення рівняння регресії наведено в табл. 3.7

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

Таблиця 3.7 - Значення рівняння регресії

y	$\bar{y}_Z$	$y - \bar{y}_Z$	$(y - \bar{y}_Z)^2$
34,4	34,2	0,15	0,02
26,7	26,5	0,17	0,03
24,3	24,5	-0,27	0,07
16,8	16,8	-0,05	0,0025
30,2	30,0	0,16	0,02
33,4	33,5	-0,13	0,018
27,8	27,9	-0,18	0,035
23,7	23,8	-0,16	0,026
18,8	18,3	0,48	0,23
30,1	30,0	0,06	0,004
32	31,8	0,13	0,018
26,3	26,3	-0,01	0,0001
24,3	24,1	0,16	0,026
18,3	18,5	-0,28	0,082
29,8	30,03	-0,23	0,054

Знаходимо дисперсію:

$$S_R = \sum (y_Z - \bar{y}_Z)^2 = 0,664167;$$

$$S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)} = 0,664167/8 = 0,083021.$$

Дисперсія $S^2\{y_z\}$, саме тому розрахункове значення F критерію:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{y_z\}} = 0,083021/0,043333 = 1,915865.$$

1,9 < 19,3 відповідно, отримана модель адекватна при 95 % рівні значимості.

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

$$\frac{dy}{dx_1} = 4,83 - 1,89 \times 2 \times x_1$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 3,862 - 2,59 \times 2 \times x_2$$

$$\frac{dy}{dx_3} = 2,775 - 2,21 \times 2 \times x_3$$

Відомо що в точці екстремуми перша похідна дорівнює нулю [15]. Тому прирівнюємо похідні до нуля. В результаті отримуємо:

$$4,83 - 1,89 \times 2 \times x_1 = 0$$

$$3,862 - 2,59 \times 2 \times x_2 = 0$$

$$2,775 - 2,21 \times 2 \times x_3 = 0$$

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

$$X_{1s} = 1,277;$$

$$X_{2s} = 0,745;$$

$$X_{3s} = 0,627.$$

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

$$Y = 35,42$$

Це значення перевищує показник, який відповідає бізовій технології.

Кодовані значення факторів перевели у натуральні:

$$1,277 = \frac{x_1 - 900}{100};$$

$$X_1 = 1027,7$$

$$0,745 = \frac{x_2 - 30}{10};$$

$$X_2 = 37,55$$

$$0,627 = \frac{x_3 - 20}{10};$$

$$X_3 = 26,27$$

Таким чином оптимізували технологію волочіння.

Висновки:

- В результаті даної роботи отримано математичну модель процесу волочіння яка пов'язує технологічні параметри з вихолом годного і представляє собою поліном другого ступеню.
- Розраховані значення наступних технологічних параметрів: : температура волочіння, обтиснення за перший перехід, обтиснення за наступні переходи .
- - Вихід годного підвищено до 35%

4ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку ринку вольфрамових сплавів

Вольфрам зустрічається в природі головним чином у вигляді окислених складних з'єднань, утворених триокиси вольфраму WO_3 з оксидами заліза і марганцю або кальцію, а іноді свинцю, міді, торію і рідкісноземельних елементів. Промислове значення мають вольфрамит (вольфрамат заліза і марганцю $nFeWO_4 \cdot mMnWO_4$ - відповідно, ферберит і Гюбнера) і шеелит (вольфрамат кальцію $CaWO_4$). Вольфрамові мінерали зазвичай вкраплені в гранітні породи, так що середня концентрація вольфраму становить 1-2%.

Найбільші ресурси вольфраму зосереджені в Китаї, Канаді, Росії і США

Китай є найбільшим споживачем вольфраму на світовому ринку (на його частку припадає близько 50% світового попиту); за ним слідують США і країн Європи.

Близько половини (а в розвинених країнах до 80%) металу в формі сполук використовується для виготовлення композиційних матеріалів і твердих сплавів.

Через накладених Китаєм обмежень на експорт вольфраму споживачі цього металу змушені шукати нові джерела поставок.

Роботи на родовищах вольфраму, розробка яких раніше була визнана економічно не вигідною, зараз відновлюються.

Нові проекти - очевидний шлях вперед для вольфрамового ринку, щоб забезпечити майбутні поставки матеріалу і у всьому світі є багато перспективних кандидатів. Однак, незважаючи на підвищення цін на вольфрам і очевидних потреб вольфрамового ринку, розробка нових проектів здійснюється дуже повільно. Кредитна криза і подальший економічний спад в 2009 році, супроводжуваний поточними економічними труднощами в Єврозоні, торкнулися впевненість інвесторів, а поза фінансування було дуже важко щось робити. Крім

того, відсутність знань щодо вольфрамової промисловості в фінансовому секторі і факт, що обсяги виробництва вольфраму є "критичним" фактором, як, наприклад, у випадку з рідкоземельними металами, також перешкоджало прогресу вольфрамових проєктів.

В даний час є ознаки того, що ситуація починає змінюватися, і на урядовому рівні вольфрам тепер розцінений як критичний / стратегічний матеріал. ЄС категоризувати вольфрам як "критичний сировину", в той час як Британська геологічна служба помістила вольфрам нагорі списку матеріалів з "ризиком поставки". Здається, вже є більше розуміння, що впевненість в поставках з Китаю не розсудливо, тому вольфрамові проєкти повинні бути заохочені. Раніше, США, ЄС і Японія подали скаргу до СОТ проти експортних обмежень Китаю на певні критичні матеріали, включаючи вольфрам. Однак малоімовірно, що це призведе до того, що Китай стане експортувати більше вольфраму, і якщо споживачі за межами Китаю хочуть забезпечити майбутні поставки, проектування і розробка нових родовищ поза Китаєм, стало б кращою ставкою.

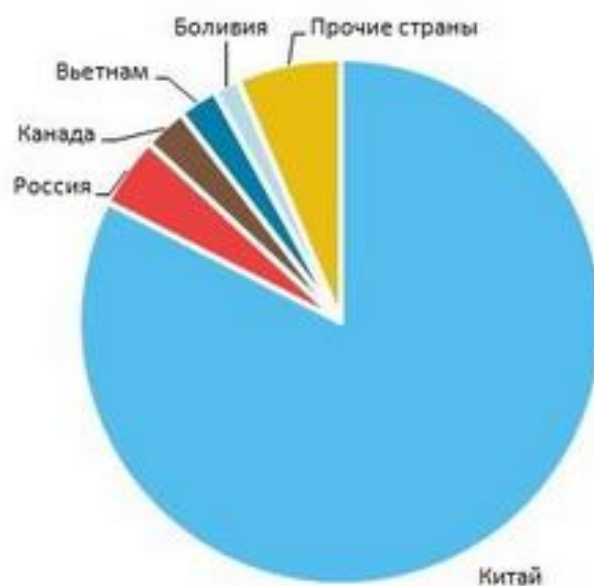


Рисунок 4.1 –Співвідношення видобутку вольфраму в світі

4.2 Техніко-економічні розрахунки

4.2.1. Характеристика продукції

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології волочіння дроту ВТ-15.

Таблиця 4.1-Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу,	Базовий виріб	Новий виріб
Дріт	ВТ-15	ВТ-15
2. Технологія оптимізації		Збільшення температури волочіння
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 сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2

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

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн	Вартість, грн
Електроенергія	198 кВт	2,68	530,64

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.

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.
Волочіння	1	5	55	55

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

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

$$ЗД = 55 \cdot 0,4 = 22 \text{ грн}$$

де K_d – 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

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

$$BC = (55 + 22 + 5,5) \cdot 0,22 = 18,15 \text{ грн}$$

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

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

$$ЗВВ = 55 \cdot 4 = 220 \text{ грн}$$

де α - % 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

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн}$$

$$АВ = 55 \cdot 5 = 275 \text{ грн}$$

де β - % 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

$$BЗ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн}$$

$$BЗ = 2195,79 \cdot 0,02 = 43,9 \text{ грн}$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою

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

$$П = 2514,7 \cdot 0,3 = 754,4 \text{ грн}$$

де P – рентабельність виробу, %.

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

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

$$ПДВ = 3269,1 \cdot 0,2 = 653,8$$

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

Ціна продажу виробу розраховується за формулою

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

$$Ц_{\text{пр}} = 3269,1 + 653,8 = 3922,9 \text{ грн}$$

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	1350
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників	55
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	22
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	18,15
6	Витрати на електроенергію технологічну	530,64
7	Загальновиробничі витрати	220
8	Собівартість виробнича	2195,79
9	Адміністративні витрати	275
10	Витрати на збут	43,9
11	Собівартість повна	2414,7
12	Прибуток	754,4
13	Ціна оптова	3269,1
14	Податок на додану вартість	653,8
15	Ціна продажу	3922,9

4.2.2 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 розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів.

Економічний ефект від впровадження нової технології волочіння

$$E = (C_{\text{б}} \cdot K - C_{\text{н}}) \cdot N = (2880 \cdot 1,35 - 2514,7) \cdot 1000 = 3744000 \text{ грн}$$

де $C_{\text{б}}$ – собівартість базового виробу;

$C_{\text{н}}$ – собівартість нового виробу;

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу.

Вдосконалена технологія виробництва дроту зі сплаву ВТ-15 передбачає збільшення виходу годної продукції на 35%, за рахунок чого економія витрат складає 3 744 000 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 дроту з ВТ15.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

А) Небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон., а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати

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 пов'язані з безпосереднім виконанням дослідницького волочіння дроту зі сплаву ВТ15 зокрема: механічні травми в наслідок порушень вимог інструкції при роботі на волочильній інсталяції або відсутності захисних огорожень, обертаючихся або переміщуючихся частин обладнання.

Г) Небезпеки які пов'язані з оцінкою якості отримання дроту з використанням скануючого мікроскопу зокрема: можливість зниження ефективності зору.

Д) Небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок

довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань.

Е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу 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) Небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон., а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания», нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання.

Організація робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії передбачає виконання робіт по відпрацюванню процесів зварювання або наплавлення з використанням технологічного обладнання. В зонах проведення зварювальних та наплавлювальних робіт організують постійні та робочі місця. Технологічне обладнання розміщують в захищених від атмосферних дій, добре провітрюваних приміщеннях, в яких підлога виготовляється з бетону, а стіни не повинні мати високий коефіцієнт відбиття. Найбільш сприятливим є обладнання робочого місця в спеціальних кабінах: каркас кабіни виготовляється з металевих матеріалів, а стіни з різних вогнестійких матеріалів, наприклад: азбоцементні плити або брезент з просочуванням вогнестійкою речовиною, дверний отвір кабіни закривають брезентовою завісою. Розташування технологічного обладнання повинно забезпечувати його безпечну експлуатацію, зручне обслуговування і ремонт. Згідно довжина кабіни $\geq 1,5$ м, ширина $\geq 1,0$ м, висота ≥ 2 м.

В разі виконання робіт які пов'язані з плануванням та розрахунками експериментів, обробку їх результатів робоче місце дослідника організують у відповідності ГОСТ 12.2.032-78. “СС. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования” конструкція робочого місця повинна забезпечувати оптимальне положення співробітника, що досягається за рахунок регулювання висоти сидіння та підставки для ніг. Підставка для ніг повинна регулюватися по висоті. Ширина повинна бути не менше 300мм, довжина – не менш 400мм. Поверхня підставки повинна бути рифленою. По передньому краю слід передбачати бортик висотою 10 мм. Важливим фактором є простір під столом, його має бути досить, щоб можна було зручно згинати та розгинати коліна. Стіл повинен мати криволінійну форму. Крісло повинно забезпечити фізіологічно раціональну робочу позу, при якій не порушується циркуляція крові і не було іншого шкідливого впливу. Для цього необхідно, щоб у крісла була пружна спинка анатомічної форми, яка зменшить навантаження на хребет. Також

крісло обов'язково повинно бути з підлокітниками і мати можливість повороту, зміни висоти і кута нахилу сидіння й спинки. Монітор повинен розташовуватися на робочому столі прямо, і віддаленням від очей мінімум на 50-60 см. Верхня границя екрану повинна бути на рівні очей або не нижче 15 см від рівня очей. Клавіатура повинна розташовуватися в 10-15 см (в залежності від довжини ліктя) від краю стола. Глибина стола повинна дозволяти повністю повністю положити лікті на стіл, відсунути клавіатуру до монітора.

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 огороженні 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 фокусуючого 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) Знімання мотків дроту з барабанів намотувальних апаратів для зручності наступного ув'язування мотка повинно бути механізованим.

Намотувальні апарати термотравильних агрегатів повинні бути обладнані пристроєм безпечного заправлення кінця дроту на барабан і приймальну котушку під час їхнього обертання.

Для аварійного вимкнення намотувального апарата повинен бути передбачений аварійний вимикач чи кнопка. У разі дворядного розташування барабанів аварійний вимикач повинен бути встановлений з кожного боку.

Конструкція напрямних роликів повинна виключати потрапляння дроту в простір між сусідніми роликами.

Для різання дроту діаметром більше ніж 0,005 м під час знімання готового мотка чи під час інших операцій необхідно застосовувати спеціальні ножиці. На намотувальних апаратах, що розробляються, повинні бути передбачені спеціальні пристосування для механічного різання дроту на барабані та котушках.

На намотувальних апаратах для змотування надто міцного дроту повинні бути встановлені рихтувальні пристрої.

Експлуатація діючих намотувальних апаратів допускається за наявності індивідуального відключення барабанів.

Спиці барабанів повинні мати пристрої для запобігання скиданню витків дроту. Кріплення спиць до передньої зірочки барабана повинно бути потайним.

Розмотувальні пристрої повинні бути розташовані з урахуванням зручного і безпечного обслуговування і мати гальма, які забезпечують рівномірний натяг дроту й утримання його витків на котушці та розмотувальних пристроях.

Г) Перед початком роботи на скануючому мікроскопі для запобігання ураження органів зору робітник зобов'язаний :провести зовнішній огляд робочого місця та звільнити його, в разі потреби, від сторонніх предметів; перевірити стан водопостачання, електроживлення та наявність захисних щитків і т.д.

Якщо вищезазначені пункти не виконані, працювати на растровому електронному мікроскопі категорично забороняється.

Під час роботи: Суворо дотримуватись вимог зазначених у інструкціях з експлуатації растрового електронного мікроскопу та системи рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу. При виявленні будь-яких відхилень від технологічного режиму чи виходу з ладу обладнання, роботу слід негайно припинити та доповісти про це керівнику або особі, відповідальній за безпеку у підрозділі. Після закінчення роботи, відключити електронний мікроскоп від мережі електроживлення. Занести час роботи в журнал обліку робочого часу. Прибрати робоче місце.

Д) Надмірна напруженість та інтенсивність праці при створенні математичної моделі з використанням комп'ютерної техніки можуть призвести до погіршення зору, а також до погіршення роботи опорно-рухового апарату.

Під час експлуатації ПЕОМ на користувача можуть діяти такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- наявність шуму та вібрації;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- м'яке рентгенівське випромінювання;

- електромагнітне випромінювання;
- ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання;
- електростатичне поле між екраном і оператором;
- прямата відбита від екранів відблиск; несприятливий розподіл яскравості в полі зору;

Основним обладнанням робочого місця користувача комп'ютера є монітор, клавіатура, робочий стіл, стілець (крісло). Відносно вікон, робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

Робочі місця, обладнані моніторами, слід розташовувати так, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Джерела освітлення рекомендується розташовувати з обох боків екрана паралельно напрямку погляду. Для уникнення світлових відблисків з екрана, в напрямку очей користувача від світильників загального освітлення або сонячних променів необхідно використовувати захисні козирки, на вікнах - жалюзі.

При роботі з текстовою інформацією (у режимі введення даних, редагування тексту та читання з екрана монітора) найбільш фізіологічним є зображення чорних знаків на світлому (білому) фоні.

Розташовувати монітори на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана монітора знаходилася в центрі поля зору і відстань до ока працівника повинна складати:

при розмірі екрану по діагоналі

- 35/38 см - 600 - 700 мм;
- 43 см - 700 - 800 мм;
- 48 см - 800 - 900 мм.

Приміщення з ПЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення. Вікна приміщень повинні мати регульовальні пристрої для відкривання, а також жалюзі,

штори, зовнішні козирки тощо.

Зручна робоча поза при роботі на комп'ютері забезпечується регулюванням висоти робочого сидіння (стілця, крісла). Висота робочої поверхні столу для ВДТ має бути в межах 680 – 800 мм.

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно в приміщенні збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів.

Заземлені конструкції, що знаходяться в приміщенні (батареї опалення, водопровідні труби тощо), мають бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику.

У приміщенні з ПЕОМ слід щоденно проводити вологе прибирання.

Приміщення з ПЕОМ повинно бути оснащено переносним вуглекислотним вогнегасником.

Рівень освітлення на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300 – 500 лк.

ПЕОМ повинно підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення.

Є неприпустимим:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання;
- користування пошкодженими розетками, вимикачами та іншими електровиробами;

Відстань між бічними поверхнями моніторів ПЕОМ має бути не меншою за

1,2 м. Відстань між тильною поверхнею одного монітора та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м.

Конструкція робочого місця користувача ПЕОМ (при роботі сидячи) має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом 70-90° до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини, нахил голови 15-20° відносно вертикальної площини.

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 гігієнічнішої 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 5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні параметри повітряного середовища

Період року	Температур а, °С	Відносна вологість, %	Швидкість 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 кондиціювання, а в холодний період року устрій систем водяного або електричного опалення, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціювання».

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 урахувати 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 огороженні та відповідно до ступеню небезпеки помічені.

ВИСНОВКИ

Дріт із сплаву ВТ15 використовують для виготовлення катодів потужних радіоламп (1 кВт).. Торій знижує енергію виходу електронів, а двоокис торію стабілізує дислокаційну структуру.

Незважаючи на велику кількість досліджень направлених на підвищення властивостей вольфраму до цього часу вихід придатного у виробництві вольфрамового дроту невисокий 15-20%. Тому дослідження, що проводяться з метою підвищення технологічних властивостей вольфрамових заготовок є актуальним.

В дипломній роботі була поставлена задача: оцінити вплив технологічних факторів на величину показника виходу годного ВТ-15 під час волочіння.

В результаті даної роботи отримано математичну модель процесу волочіння яка пов'язує технологічні параметри з вихолом годного і представляє собою поліном другого ступеню.

Розраховані значення наступних технологічних параметрів: : температура волочіння, обтиснення за перший перехід, обтиснення за наступні переходи .

По результатам опрацьованого матеріалу запропонована вдосконалена технологія виробництва дроту зі сплаву ВТ-15, що дозволяє збільшення виходу годної продукції до 35%.

Виконано техніко-економічні розрахунки, що підтверджують доцільність оптимізації технології.

Проаналізовано потенційні небезпеки та запропоновані заходи щодо їх запобігання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 В.Попович; Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник. Львів: Світ, 2016; 216с.-223с.
- 2 М.А.Сологуб; Технологія конструкційних матеріалів. Підручник, вища шк., 2012; 77с.
- 3 Еськов Э.В., Игнатов А.Ю., Постолов В.С., Филимонов А.С. Оптический сапфир, технические требования и технология выращивания кристаллов. Северо-Кавказский ГТУ. Материалы конференции Химия твердого тела, 2006 г. 83 с.
- 4 Д.І. Блецкан, В.Я. Братусь, А.Р. Лукянчук, В.Т. Маслюк, О.А. Парлаг. Ужгородський НУ, ЗАО «Технокристалл», Інститут фізики напівпровідників НАН, Інститут електронної фізики НАН, Україна. 2008, том 34, вип.14. 453с.
- 5 Банас Ф.П., Гайдук В.В., Натапов Б.С., и др. Композиционные материалы хром-молибден, вольфрам. Металловедение и термическая обработка, 1971, 42 с.
- 6 Карпинос Д.М. и др. Прочностные характеристики металлических сплавов, армированных проволокой из тугоплавких металлов. 1972, 52с.
- 7 Е.М. Савицкий, Г.С. Бурханов. Металловедение тугоплавких металлов и сплавов. Наука, М, 1967. 83 с.
- 8 И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. Теория волочения. Металлургия. М. 1971-448 с.
- 9 Волченко В.Н. Сварка и свариваемые материалы. Том 1 - Свариваемость материалов / В.Н. Волченко. - М.: Металлургия, 1991. – 528с.
- 10 Суворов А.А. Обработка деталей из вольфрама и его сплавов / А.А. Суворов. - М.: Машиностроение, 1978. - 132с.
- 11 Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок - М.: Металлургия, 1971. - 448с.

12 Шаповал В.Н. Теоретическое обоснование, разработка и внедрение высокопроизводительных процессов вибрационного волочения и прессования труднодеформируемых материалов. Дисс. докт. техн. Наук / В.Н. Шаповал - Кременчуг, 1988. - 340 с.

13 Шаповал В.Н. Вибрационные приводы в металлообработке / В.Н. Шаповал - К.: Техніка, 1983 - 120 с.

14 Клименко В.М. Вибрационная обработка металлов давлением / В.М. Клименко, В.Н. Шапова - Киев: Техника, 1977 - 231с.

15 Марочник веб-сайт. URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/

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

17 Зеликман А.Н., Никитина А.С. “Вольфрам”: Освіта.1969. 53 с.

18 Уткин Н.И. “Металлургия цветных металлов”: Освіта.2003. 453 с.

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

20 Агте К., Вацек И. “Вольфрам и молибден”: Освіта.2015. 65с.

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

22. Б.М.Савицкий, М.В.Тылкина, Н.К.Казанская Сплавы вольфрама и молибдена для упругих элементов приборов: металловедение и термическая обработка металов, 1984. 83 с.

23 Шаповал А.Н. Интенсивные процессы обработки давлением вольфрама и молибдена / А.Н. Шаповал, С.М. Горбатюк, А.А. Шаповал. - М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2006. – 352с.

Додаток А

ХІМІЧНИЙ СКЛАД ВОЛЬФРАМОВОГО СПЛАВУ ВТ15

Марка сплава	Вміст елементів, % мас.					
	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	Mo	ThO_2
ВТ15	0.0011	0.0015	0.003	0.003	0.005	1.5-1.75

ВЛАСТИВОСТІ ВОЛЬФРАМОВОГО ДРОТУ ДІАМЕТРОМ 2,5 ММ

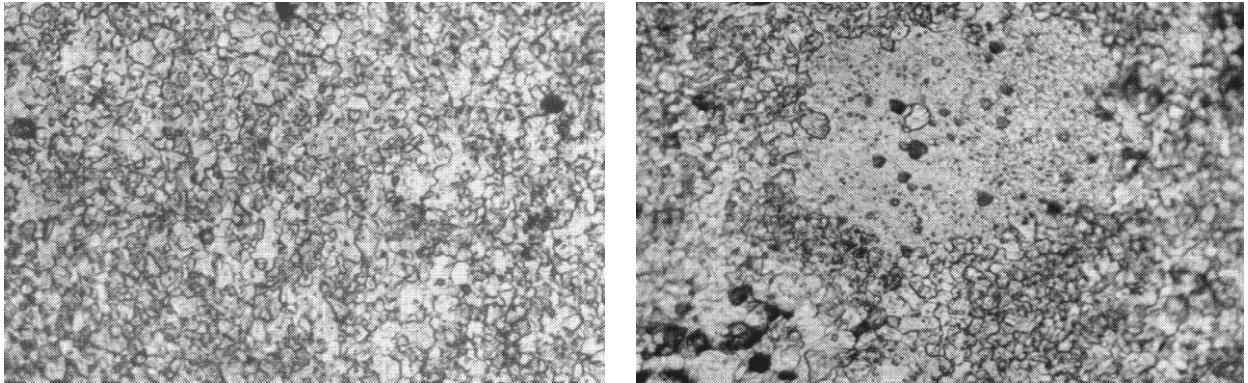
Марка сплаву	Температура випробування 20 °C		Температура рекристалізації $t \pm 20, ^\circ\text{C}$, $\tau=1$ год.	$\sigma_{\text{в}} \pm 5$, МПа при 2200 °C	Коефіці- єнт роз- шаруван- ня $K_p \pm 1,5$, %
	$\sigma_{\text{в}} \pm 50$, МПа	$\delta \pm 0,5$, %			
ВТ15	2700	4,0	2000	127	18,7

ВОЛЬФРАМОВИЙ ДРІТ

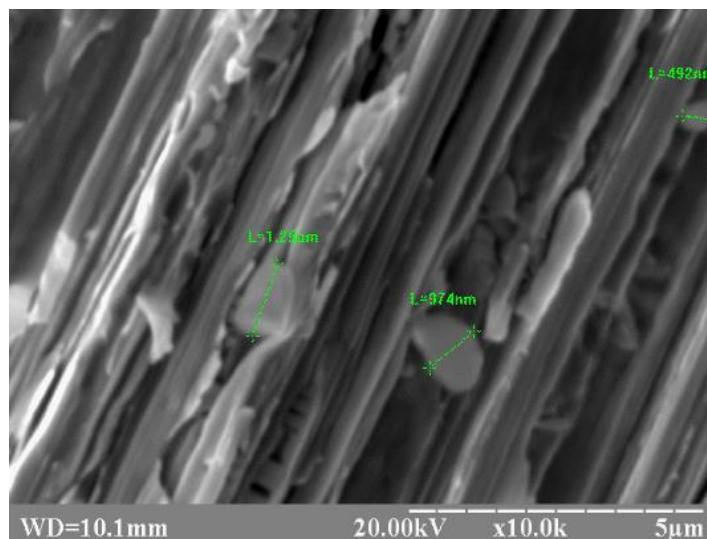
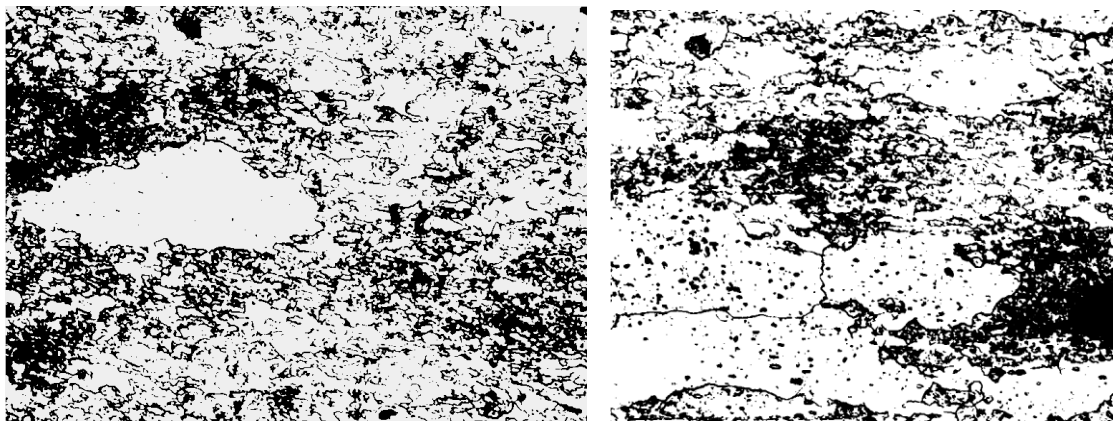


Додаток Б

МІКРОСТРУКТУРА СПЛАВУ ВТ15 ПІСЛЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПІКАННЯ $\times 800$



МІКРОСТРУКТУРА ДРОТУ ДІАМЕТРОМ 2,5 $\times$ 400



$\times 1000$

СХЕМА АЛМАЗНОЇ ФІЛЬ'ЄРИ ДЛЯ ПРОТЯЖКИ ВОЛЬФРАМОВОГО ДРОТУ

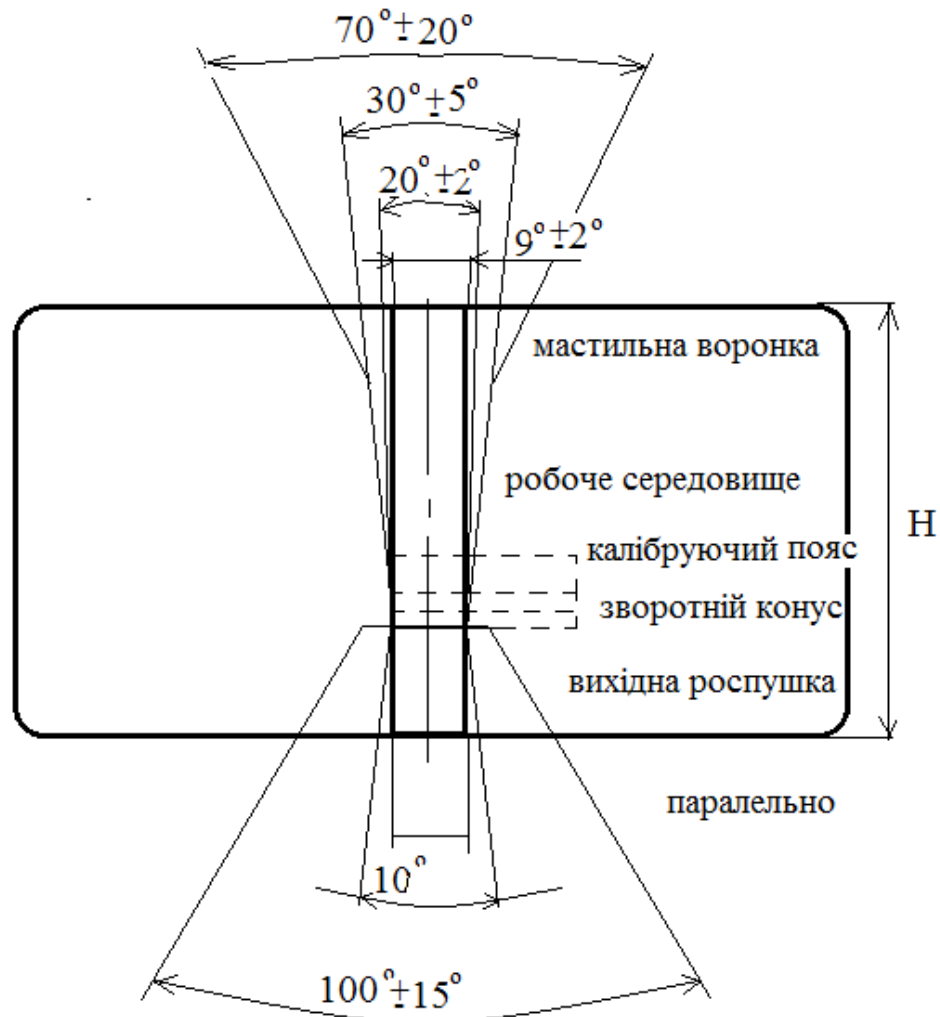
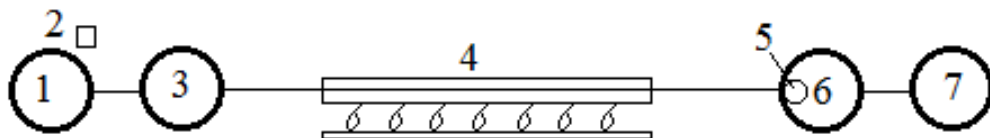


СХЕМА ВОЛОЧИЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ВОЛЬФРАМОВОЇ ПРОВОЛОКИ



1 – падаючий барабан; 2 – гальма; 3 – ємність з графітовим мастилом (аквадаг) ; 4 – підігрівач; 5 – філь'єра; 6 – підігрівальний блок з філь'єрою, 7 – приймальний барабан.

Додаток Г

РІВНІ ТА ІНТЕРВАЛИ ВАРІЮВАННЯ ФАКТОРІВ

Фактори	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
			верхній +1	основний 0	Нижній -1
T - температура волокіння, °С	X_1	100	1000	900	800
ψ - обтиснення за 1-ий перехід, %	X_2	10	40	30	20
ψ_k - обтиснення за наступні переходи, %	X_3	10	30	20	10

ЧИСЛА ДОСЛІДІВ, ПЕРЕДБАЧЕНІ НЕКОМПОЗИЦІОННИМИ ПЛАНАМИ І
ЦЕНТРАЛЬНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ РОТАТАБЕЛЬНИМИ ПЛАНАМИ ДРУГОГО
ПОРЯДКУ

Число факторів:	3	4	5	6	7
Некомпозиційний план (вибірка з плану типу 3^k)	15	27	46	54	62
Центральний композиційний ротатабельний план другого порядку	20	31	32	58	92

Додаток Д

МАТРИЦЯ ПЛАНУВАННЯ В КОДОВАНИХ
ВЕЛИЧИНАХ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Номер дослідю	X_0	X_1	X_2	X_3	y
1	1	+	+	0	34,4
2	1	+	-	0	26,7
3	1	-	+	0	24,3
4	1	-	-	0	16,8
5	1	0	0	0	30,2
6	1	+	0	+	33,4
7	1	+	0	-	27,8
8	1	-	0	+	23,7
9	1	-	0	-	17,8
10	1	0	0	0	30,1
11	1	0	+	+	32,0
12	1	0	+	-	26,3
13	1	0	-	+	24,3
14	1	0	-	-	18,3
15	1	0	0	0	29,8

Додаток Е

Після обчислювання і виключення не значимих факторів рівняння приймає вигляд:

$$Y = 30,03 + 4,83 \cdot x_1 + 3,862 \cdot x_2 + 2,775 \cdot x_3 - 1,89 \cdot x_1^2 - 2,59 \cdot x_2^2 - 2,21 \cdot x_3^2$$

Знаходимо дисперсію адекватності:

$$S_R = \sum (y_z - \bar{y_z})^2 = 0,664167;$$
$$S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)} = 0,083021.$$

Розрахункове значення критерію F :

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{y_z\}} = 1,915865 < 19,3 \text{ (модель є адекватною)}$$

Беремо похідну по кожній змінній (x_1, x_2, x_3) і прирівнюємо їх нулю

$$\frac{dy}{dx_1} = 4,83 - 1,89 \times 2 \times x_1 = 0; \quad \frac{dy}{dx_2} = 3,862 - 2,59 \times 2 \times x_2 = 0;$$
$$\frac{dy}{dx_3} = 2,775 - 2,21 \times 2 \times x_3 = 0$$

Вирішуючи систему отримуємо фактори які забезпечують максимальне значення параметра оптимізації – вихід годного.

$$X_{1s} = 1,277; \quad X_{2s} = 0,745; \quad X_{3s} = 0,627.$$

Значення виходу годного при встановленні даних значень факторів

$$Y = 35,42 \text{ отриманого розрахунком}$$

Кодовані значення факторів перевели у натуральні:

$$1,277 = \frac{x_1 - 900}{100}; \quad X_1 = 1027,7, ^\circ\text{C}$$
$$0,745 = \frac{x_2 - 30}{10}; \quad X_2 = 37,55, \%$$
$$0,627 = \frac{x_3 - 20}{10}; \quad X_3 = 26,27, \%$$

Значення виходу годного при встановленні даних значень факторів

$$Y = 40,5 \% \text{ отриманого в експерименті}$$