

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Фізико-технічний, інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження впливу технологічних параметрів процесу виробництва вольфрамоторієвих стовбів на їх структуру та властивості

Виконав: студент VI курсу, групи 1Ф-212М
спеціальності (напряму підготовки)

6.050403 Інженерне матеріалознавство
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Березкін С.В. БВ
(прізвище та ініціали)

Керівник Вішівенко В.С. ВВ
(прізвище та ініціали)

Рецензент Усенко Р.В. УС
(прізвище та ініціали)

12.12.17

м.Запоріжжя

2017 рік

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

Інститут, факультет фізико-технічний, інженерно-фізичний
 Кафедра фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 132 матеріалознавство (прикладне матеріалознавство)
 (код і назва)
 Напрямок підготовки 6.050403 інженерне матеріалознавство
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Огломацький В.Ю."11" 12 2017 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Березкін Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу технологічних параметрів процесу виробництва вольфрамоторевих сплавів на їх структуру та властивості.

керівник проекту (роботи) Віштенко Валерій Степанович, к.т.н. доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "03" травня 2017 року № 3752. Строк подання студентом проекту (роботи) 08.12.2017г.3. Вихідні дані до проекту (роботи) Загальні характеристики сплавів вольфрам
технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Основні параметри та властивості вольфраму; короткий огляд високотемпературних композиційних матеріалів; теплоемкість, рекристалізація вольфрамових сплавів; Область застосування торійованого вольфраму; Формування структури і властивостей дроту з вольфрамівих сплавів в процесі технологічної переробки; Розширення при вальцюванні; Матеріали і методи дослідження; Дослідження впливу технології виробництва на розподіл дроту у вольфрамівих сплавах

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Вплив концентрації дроту на дисперсність його часток (сплавів зварені при 2750°C); Теплоемність сплаву ВР10Т2 (прутки діаметром 5,6мм температура виробування 20°C); Теплоемність сплаву ВР10Т2 (прутки діаметром 5,6мм температура виробування 1100°C); Дисперсність часток ThO₂ ВР10Т2 звареного при 2400°C; Хімічний склад вольфрамоторевих сплавів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	при виконанні завдання
Основні параметри та властивості вальоролу	Вініченко В.С. доц.		
Матеріали і методи дослідження	Вініченко В.С. доц.		
Дослідження впливу технології виробництва на розподіл двоокису титану у вальоролі	Вініченко В.С. доц.		
Екологічна ефективність від використання результатів	Курішкіна Р.В. доц.		
Безпека праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Нестерів О.В. доц.		
Висновки	Климов Д.В. доц.		

7. Дата видачі завдання 06.10.2017г.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прізвище
1	Основні параметри та властивості вальоролу	18.10.2017	
2	Матеріали і методи дослідження	05.11.2017	
3	Дослідження впливу технології виробництва на розподіл двоокису титану у вальоролі	13.11.2017	
4	Екологічна ефективність від використання результатів	26.11.2017	
5	Безпека праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	05.12.2017	
6	Висновки	06.12.2017	
7	Перелік використаної літератури	06.12.2017	

Студент

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

Керівник проекту (роботи)

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

РЕФЕРАТ

ПЗ: стор. 117, рис. 17, табл. 15.

Мета: основні положення технології отримання дроту із торійованого вольфраму зі зменшеною схильністю до розшарування.

Розглянуті властивості торійованого вольфраму, специфіка його виробництва методи введення частинок двоокису торію. Визначені основні технологічні параметри виготовлення торійованого вольфраму та вплив концентрації торію на ресурс роботи виробів, термічну стабільність і механічні властивості сплаву.

Випробуваний метод виготовлення деталей згинанням та зварюванням дротів із вольфрамових сплавів, зміцнених частинками ThO_2 . Для цього був використаний метод пресування, спікання та волочіння дроту.

ВОЛЬФРАМ, ТОРІЙ, РЕНІЙ, ДРІТ, КОНСТРУКЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ, СТРУКТУРА, АКТИВАЦІЯ, ПРЕСУВАННЯ, РОЗШАРУВАННЯ, ПОРИ, ШТАБИК

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВОЛЬФРАМУ.....	8
1.1 Короткий огляд високотемпературних композиційних матеріалів..	8
1.2 Холодноламкість.....	12
1.3 Рекристалізація вольфрамових стопів.....	21
1.4 Область застосування торійованого фольфраму.....	28
1.5 Формування структури й властивостей дроту з вольфрамових стопів в процесі технологічної переробки.....	30
1.6 Розшарування при волочінні.....	31
2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	33
2.1 Технологія виробництва торійованого вольфраму.....	33
2.2 Ковка штабиків на ротаційно-ковочних машинах.....	35
2.3 Умови волочіння.....	36
2.4 Контроль якості проволочи.....	38
2.5 Методика проведення експериментів.....	38
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА НА РОЗПОДІЛ ДВООКИСУ ТОРІЮ У ВОЛЬФРАМОВИХ СПЛАВАХ.....	41
3.1 Вплив вмісту та технології введення зміцнювальної фази на розподіл її частинок за величиною.....	46
3.2 Вплив розподілу за величиною частинок ThO ₂ на структуру і властивості прутків та дроту із сплаву ВР10Т2.....	54
4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	61

4.1 Тенденції розвитку ринку вольфраму та його сплавів	61
4.2 Планування науково-дослідницької роботи.....	66
4.2.1 Визначення трудомісткості та тривалості НДР.....	66
4.2.2 Складання календарного графіка.....	74
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	89
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	89
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки	90
5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці.....	97
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	102
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	105
ВИСНОВКИ.....	112
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	114

ВСТУП

Сучасна техніка високих температур, швидкостей та тисків висуває підвищені вимоги до матеріалів, особливо до жароміцних стопів. Оскільки робочі температури сплавів визначаються, насамперед, температурою плавлення металу – основи, великий інтерес в усьому світі викликає вольфрам. Це самий тугоплавкий метал ($T_{пл} \sim 3420^{\circ}\text{C}$), що має саму більшу силу міжатомних зв'язків, яка робить його найбільш перспективною основою для створення металевих жароміцних матеріалів для роботи в екстремальних умовах, коли сплави на інших, більш легкоплавких основах (титановій, залізній, нікелевій й навіть ніобієвій, молібденовій та танталовій) працювати вже не в змозі. Найнижчий коефіцієнт лінійного термічного розширення, найвища теплопровідність, найнижчий питомий електроопір в родині тугоплавких металів, високі відбивна й випромінювальна здатності визначають застосування нелегованого вольфраму і його стопів як у галузях техніки, що стали вже традиційними (світлотехніка, електротехніка, електровакуумна техніка, електроніка), так і у відносно нових перспективних галузях техніки (для деталей двигунів та органів керування космічних апаратів, деталей різного роду енергетичних установок та ін.) [1,2].

1. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВОЛЬФРАМУ

1.1 Короткий огляд високотемпературних композиційних матеріалів.

Поширеність вольфраму в земній корі невелика $\sim 1 \cdot 10^{-4} \%$; загальні запаси вольфраму в світі оцінюють в 2,12 млн. т. [6].

Основними способами виготовлення виробів і напівфабрикатів з вольфраму і його стопів технічної чистоти є порошкова металургія (ПМ) та вакуумне плавлення (ВП) [1,5]. Металознавство вольфраму ПМ нараховує приблизно 80 років, тоді як для металу ВП цей період становить тільки 40 років.

В цей час можна з упевненістю сказати, що основні переваги й недоліки кожного з вказаних методів виявлені в достатній мірі, що дозволяє вибирати спосіб виготовлення виробів з напівфабрикатів (ПМ або ВП) залежно від конкретних цілей, умов роботи, наявного устаткування й економічних показників. Обидва методи дозволяють одержувати великогабаритні деталі із густиною, близькою до теоретичної. До того ж поки тільки цим методом можуть бути надійно отримані висок жароміцні сплави з карбідним зміцненням [7]. Можливість відливки заготовок або деталей складної конфігурації, максимально наближених за формою до готового виробу, також є одним з переваг методу ВП [8]. Однак метод ПМ у ряді випадків виявляється більш економічним, мало відхідним: наприклад, одержання прутка із дроту з спечених штабиків, одержання пластин, товстого й тонкого листа [1,5,9]. Спечені заготовки не завжди потребують екструзії як первинної деформації, тоді як для злитків цей процес є зовсім необхідним. До того ж поки тільки методом ПМ може бути отриманий вольфрам, зміцнений тугоплавкими оксидами, або не провисаючий вольфрам з алюмокремнієлужними присадками [1,5,7,10,11].

Комплекс вимог, пропонованих до високотемпературних стопів вольфраму, у більшості випадків можна підсумувати таким чином:

- температура плавлення, тепло-, електропровідність і ТКЛР, близькі до таких для нелегованого вольфраму;

- висока температура початку й кінця рекристалізації; висока тривала міцність яка спостерігається при середніх температурах, до температури плавлення;

- низька температура переходу із пластичного в крихкий стан ($T_x \leq 20^\circ\text{C}$); гарна технологічність; формостійкість; стійкість проти термоудару й ряд інших властивостей.

Як видно з цього переліку, деякі вимоги є взаємовиключними: в кожному конкретному випадку повинно вибиратися оптимальне сполучення властивостей, досяжне в реальних умовах.

При створенні жароміцних стопів вольфраму використовують ті ж способи зміцнення, які були в свій час розроблені для стопів на більш пластичних і більш легкоплавких основах: це структурне (деформаційне), твердо розчинне, дисперсійне й дисперсне зміцнення, яке використовується в різних комбінаціях залежно від конкретних умов служби й вимог до матеріалів. Однак стосовно до вольфраму вони вимагають істотного корегування. Висока температура плавлення вольфраму порівняна з температурою плавлення найбільш тугоплавких зміцнюючих фаз (карбіди) або значно вище (оксиди), а також близька (або вище) до температури кипіння багатьох легуючих елементів ще більше тугоплавких. Так, для вольфраму поняття «модифікатори», як тугоплавкі тверді частки, що є центрами кристалізації розплаву, практично втрачає своє значення, тому що при температурі плавлення вольфраму всі тугоплавкі фази або розчиняються в розплаві й утворюють з ними евтектику, або розплавляються.

Холодноламкість вольфраму (крихкість литого й рекристалізованого матеріалу при температурах нижче $0,1-0,15 T_{\text{пл}}$ вольфраму), низька технологічна пластичність, високий опір деформації також накладають серйозні обмеження, як на вибір легуючих елементів, так і на визначення раціональної їхньої концентрації в

сплавах, оскільки необхідно приймати до уваги погіршення пластичності, і деформуєності при більшості видів зміцнення. У зв'язку з цим, у багатьох випадках вибір сплаву на основі вольфраму для виробу визначається не стільки «рекордністю» досягнутого рівня жароміцності або інших профільюючих службових властивостей, скільки технологічністю матеріалу, можливістю одержання спеченої заготовки або бездефектного зливка, можливістю продеформувати або механічно обробити метал, тобто технологічністю сплаву.

У цей час рівень знань про взаємозв'язок хімічного й фазового складу сплавів вольфраму зі структурою й механічними властивостями настільки високий, що це дозволило сформулювати принципи легування високотемпературних конструкційних сплавів вольфраму [7].

Висока міцність і температура початку рекристалізації T_p сплавів вольфраму пов'язана з формуванням в сплавах дисперсних часток тугоплавких фаз впровадження, термодинамічно стабільних в умовах утворення стопів (плавлення, спікання), термомеханічної обробки й служби, стійких проти огрубіння. Комбінацією дисперсного (дисперсійного) зміцнення з твердорозчинним легуванням і деформаційним зміцненням можуть бути досягнуті високі характеристики короткочасної й тривалої міцності, максимальні в порівнянні зі стопами на будь-яких інших основах. На рисунку 1-3 узагальнені наявні в цей час у літературі [1,5] і експериментальні дані по впливу легування на механічні властивості й температуру початку рекристалізації вольфраму ВП і ПМ. Різниця у фізико-хімічній природі надлишкових фаз визначає розходження у величині зміцнюючого ефекту й температурних інтервалів його реалізації [7,16].

Найбільш ефективним способом зміцнення стопів, як при кімнатній температурі, так і при високих температурах є зміцнення стопів дисперсними термічно та хімічно стабільними частками. Зміцнення може бути прямим і непрямим. Пряме зміцнення обумовлене безпосередньою взаємодією дислокацій з дисперсними частками, які є бар'єрами для переміщення дислокацій в процесі

пластичної деформації. Непряма взаємодія пов'язана з можливістю стабілізації нерівноважного структурного стану й підвищення температури рекристалізації. В якості дисперсної зміцнюючої фази можуть бути використані тугоплавкі нітриди, карбіди, окисли.

Найпоширенішою добавкою є окис торію (ThO_2), що при рівномірному розподілі між частками вольфраму перешкоджає росту зерна, крім того добавки окислу торію визначають також характер границь зерен. У чистому металі вони гладкі й майже прямі, тоді як включення торію надають їм нерівні обриси. У дроті, виготовленому з вольфраму, що містить ThO_2 , останній робить механічний опір росту зерен, тому при нагріванні такого дроту вище температури рекристалізації розмір зерна, стосовно діаметра дроту, залишається невеликим. Такий дріт має більшу механічну міцність, тому що ThO_2 підвищує опір ковзанню.

Промисловістю випускається ряд стопів, зміцнених частками торію: ВТ7, ВТ10, ВТ15, що відрізняються різною кількістю часток ThO_2 . Найбільш міцним та маючим високу температуру рекристалізації є стоп ВТ15 з вмістом часток ThO_2 1,5...2,0%. Однак цей стоп має підвищену крихкість.

Особливо перспективними є дроти з вольфрамових стопів додатково легованих ренієм. Особливість ренію, що має ГПУ ґратку, є висока розчинність в ОЦК металах. Так розчинність ренію у вольфрамі при 1100°C становить 32 мас. %.

Введення більших кількостей ренію (40 мас. %) може бути рекомендовано тільки у випадку створення стопу, в якому необхідно мати значне твердо розчинне зміцнення при температурах до $\sim 1600^\circ\text{C}$ і деформаційне зміцнення при температурах до $1200\text{-}1500^\circ\text{C}$ у сполученні з різким поліпшенням низькотемпературної пластичності («ренієвий ефект»).

Однією з причин «ренієвого ефекту» вважають [7] нейтралізацію крихкого впливу вуглецю на метали VI А групи. А також протікання в цих стопах деформації

не тільки по механізму ковзання, як це характерно для ОЦК металів, але й по механізму двійникування, що типово для металів із ГЦУ ґратками. Найбільш інтенсивне утворення двійників деформації спостерігається при вмісті ренію в стопах більше 20%.

Використання «ренієвого ефекту наклепуавємості» дозволяє управляти властивостями міцності ренієвих стопів при їхній обробці тиском. Такий ефект полягає в різкому збільшенні наклепуавємості ОЦК металів при їх легуванні ренієм, що особливо яскраво виявляється в насичених твердих розчинах. При цьому зберігається їх деформуємість, що дозволяє досягати високих ступенів обтиснення.

1.2 Холодноламкість

Вольфраму (і його сплавам), як і іншим металам VIA групи – хрому й молібдену властива холодноламкість, що є одним з основних перешкод для їх застосування як конструкційних матеріалів. При температурах нижче $\sim 0,1 - 0,2 T_{пл}$ вольфрам і майже всі його сплави у литому, рекристалізованому стані й після зварювання стають крихкими.

Механічний або феноменологічний підхід до пояснення холодноламкості металу ґрунтується на зміні співвідношення між σ_B і σ_T з температурою. З позиції сучасної механіки руйнування перехід металу в холодноламкий стан визначається появою в ньому тріщин критичного розміру, що задовольняють умові Гриффітса-Орована. Зі зниженням температури критичний розмір тріщин зменшується, і верхня границя спектру мікро тріщин, включень і інших ймовірних дефектів, які присутні в реальному металі, досягає критичних значень. При цьому з'являється можливість їхнього нестационарного розвитку. Зменшення критичного розміру

тріщин і інших об'ємних дефектів повинно приводити до зниження температури переходу в крихкий стан. [7].

Згідно з метало-фізичними концепціями виникнення тріщини, що ініціює крихке руйнування металу, обумовлено заблокованістю дислокацій, неможливістю їхнього пересування аж до напруг, що викликають послідовний розрив міжатомних зв'язків по краях мікро тріщин. Створення оптимальної дислокаційної структури може забезпечити певний запас пластичності металу при кімнатній і низькій температурах [6, 7, 8, 9].

Як відомо з фізико-хімічних теоретичних положень, на холодноламкість вольфраму і його стопів впливають електронна будова металу, що визначає характер міжатомного зв'язку й тип кристалічних ґраток, а також чистота металу по домішках [10, 11]. Зазначені підходи до вивчення холодноламкості не суперечливі, а взаємодоповнюючі. Границя текучості вольфраму технічної чистоти сильно залежить від температури, тому зі зниженням температури росте швидше, ніж межа міцності. Температурозалежна частина напруги плину (зрушення) складається з опору кристалічних ґраток руху дислокацій, пов'язаного з типом міжатомного зв'язку (сили Пайерлса-Набарро) і опору руху дислокацій, обумовленого домішками впровадження. Температурозалежна частина напруги плину визначається взаємодією далеко діючих полів напружень і складається з опору лісу дислокацій, опору, внесеного всіма дислокаціями, і додаткових напружень через легування.

Домішки впровадження в о.ц.к. ґратках розташовуються, як правило, в октаендричних порах, що викликає тетрагональні перекручування кристалічних ґраток. Термічна активація забезпечує подолання бар'єрів, обумовлених взаємодією дислокацій з пружними полями, що виникають в результаті тетрагональних перекручувань кристалічних ґраток.

В даний момент для вольфраму ще не досягнутий той ступінь чистоти від домішок впровадження, що дозволив би повністю виключити вплив цих домішок і в

чистому виді оцінити величину внеску, покладеного в їхню низькотемпературну крихкість особливостями їхньої електронної будови, кристалічної структури й міжатомного зв'язку.

На характер руйнування впливають як внутрішні фактори (структура, склад, електронна будова металу), так і зовнішні (швидкість і тип навантаження, температура випробування, геометрія зразка та стан його поверхні).

При наявності домішок впровадження збільшується ймовірність формування плоских скупчень дислокацій перед перешкодами типу границь зерен, субзерен, включеннями. При цьому напруга, що діє на провідну дислокацію такого скупчення, може виявитися достатньою для утворення зародка мікро тріщини, якщо не відбудеться релаксація цієї напруги за рахунок вступу в дію інших механізмів переміщення дислокацій поблизу перешкод (поперечне ковзання).

Розчинність домішок у вольфрамі низька. В зв'язку з цим в сплавах вольфраму присутні надлишкові фази впровадження. Наявність сегрегації домішок впровадження по границях зерен, утворення пор і виділення крихких фаз впровадження, що є джерелами зародження тріщин, визначають слабкість границь зерен і є однією з головних причин холодноламкості полікристалічного вольфраму.

Крім домішок впровадження (С, О, Р, В, N) сегрегіваними в прикордонній та іншій дефектній ділянці ґраток можуть виявлятися й інші елементи - наприклад К, Р, As, Sn і ін. у вольфрамі. Локалізуючись по границях зерен ці елементи також викликають крихкість, незважаючи на те, що загальний вміст їх в металі може не перевищувати тисячних часток відсотка [9, 12].

Істотний внесок у низькотемпературну крихкість дають такі фактори, як кількість, склад, структура, форма, характер розподілу й властивості надлишкових фаз впровадження, сила їхнього зчеплення з матрицею, їхній вплив на величину структурних елементів матриці в процесі ТМО. Із цих позицій включення різних типів, що зустрічаються в металі, варто розглядати або як зміцнюючий матеріал

частки стабілізуючий тонку структуру вольфраму, яка сформувалася в результаті попередньої обробки, або як частки, що є ефективними концентраторами напруг і джерелами зародження тріщин.

Одним зі способів боротьби з низькотемпературною крихкістю вольфраму і його сплавів є очищення від домішок впровадження на різних стадіях одержання металу, а також шляхом рафінування при мікролегуванні.

Зерногранична крихкість не розкисненого або слабко розкисненого вольфраму ЭПШ, ДВП, що містить $\geq 0,005$ ч $0,007\%$ (по масі) кисню, обумовлена утворенням неміцних, великих, слабко пов'язаних з матрицею легкоплавких оксидів вольфраму в процесі плавлення або при спіканні мікро присадками активних до кисню елементів (В, Мп у металі ПМ) кисень виділяється при стопоутворенні у вигляді легко летучих оксидів або зв'язується в тугоплавкі оксиди типу Y_2O_3 , ThO_2 , в результаті чого зменшується його загальна кількість у стопі, що запобігає утворенню скупчень легкоплавких оксидів і газових пор, пухирців на границях зерен, які сприяють зародженню зернограничної крихкості металу. Шкідливий вплив вуглецю, утворення великих, грубих виділень W_2C і сегрегацією вуглецю на границях і дефектах кристалічних ґраток запобігає як за допомогою конкурентного витиснення вуглецю з дефектів і границь і збільшення його граничної розчинності у вольфрамі при введенні мікро присадок некарбідоутворюючих ренію в сплави з низьким вмістом вуглецю, так і зв'язуванням вуглецю в тугоплавкі термодинамічні стабільні карбіди типу $Me^{IV}C$, здатні утворювати дисперсні частки в стопах з високим вмістом вуглецю. При руйнуванні стопу з $\sim 1-2\%$ (об'ємн.) $Me^{IV}C$ відбувається розгалуження тріщини на міжфазній границі W/MeC, що збільшує роботу поширення тріщини в області температур в'язко-крихкого переходу й зниженню T_x . Дисперсні частки тугоплавкого оксиду ThO_2 також забезпечують зниження T_x і поліпшення оброблюваності матеріалу, за рахунок зменшення довжини смуги ковзання й затуплення вершини тріщини на міжфазній границі вольфрам-оксид торію.

Значну роль у підвищенні низькотемпературної пластичності має структурний фактор. Подрібнення зерен, субзерен і осередків, збільшення щільності дислокації в процесі деформації стопів вольфраму при температурах (0,3ч0,6) $T_{пл}$ приводить до зниження T_x (рисунок 1.2.2). низьколеговані сплави вольфраму (розкислені з твердо розчинним або дисперсним зміцненням) проявляють макропластичність і реалізують властивості міцності при кімнатній температурі після деформації на 70-80%. При досягненні ступеню деформації 94-95 і 95-96% у стопах з карбідним зміцненням і розкислених низьколегованих [$\leq 4\%$ (по масі) Mo, Re] твердих розчинах відповідно утворюється волокниста структура із середнім діаметром комірок $\leq 0,5$ мкм, що забезпечує стабільну пластичність стопів при кімнатній температурі (рисунок 1.7). Установлено [4,6], що введення до 0,6% (об'ємн.) Zr, Hf сприяє формуванню більш дисперсної комірчастої (субзеренної) структури з більш високою щільністю дислокацій в обсязі зерна, в результаті чого в стопах з карбідним зміцненням T_x нижче, ніж у стопах, в матрицю яких карбіди не вводилися. Дорекристалізаційний 1-г відпал (ступінь рекристалізації 10ч90%) мало змінює T_x стопів, тоді як 3-г рекристалізація при 2000°C підвищує T_x стопів до 400-500°C внаслідок перерозподілу домішок, блокування домішками впровадження дислокацій, що утворилися при деформації, перебудови дислокаційної структури, зменшення щільності дислокацій і утворення сегрегацій або надлишкових фаз елементами впровадження по границях зерен. Введення тугоплавких фаз типу карбідів $Me^{IV}C$ структура із середнім діаметром комірок $\leq 0,5$ мкм, що забезпечує стабільну пластичність стопів при кімнатній температурі (рисунок 1.2.2).

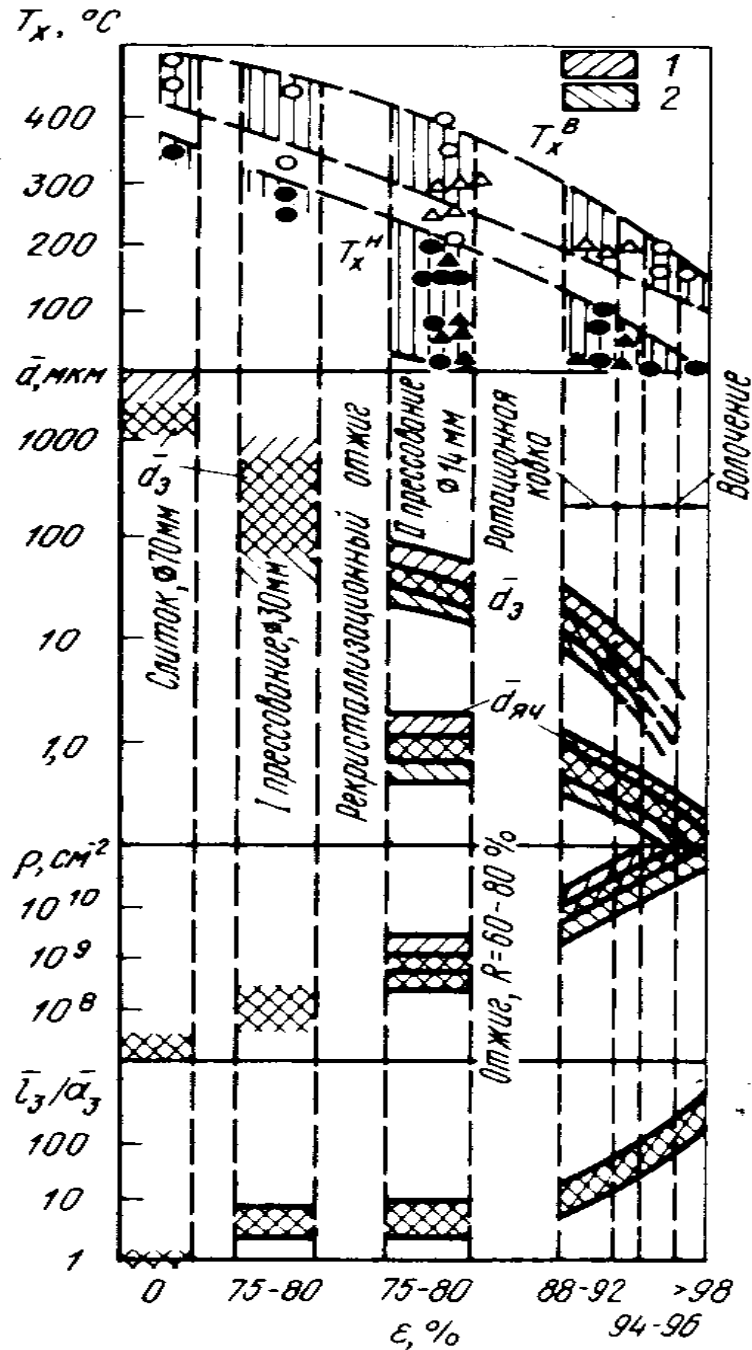


Рисунок 1.2.2 – Зміна T_x , середнього діаметру зерна та комірки $d_{3,ком}$, товщини волокна d_b , відношення довжини волокна до його діаметру l_3/d_3 та густини дислокацій ρ при деформації відливків низьколегованих стопів вольфраму розкислених (1) або з карбідним зміцненням (2) на пруток або проволочку

структура із середнім діаметром комірок $\leq 0,5$ мкм, що забезпечує стабільну пластичність стопів при кімнатній температурі (рисунок 1.2.3). Встановлено [4,6], що введення до 0,6% (об'ємн.) Zr, Hf сприяє формуванню більш дисперсної

комірчастої (субзеренної) структури з більш високою густиною дислокацій в обсязі зерна, в результаті чого в стопах з карбідним зміцненням T_x нижче, ніж у стопах, в матрицю яких карбіди не вводилися. Дорекристалізаційний 1-г відпал (ступінь рекристалізації 10-90%) мало міняє T_x стопів, тоді як 3-г рекристалізація при 2000°C підвищує T_x стопів до 400-500°C внаслідок перерозподілу домішок, блокування домішками впровадження дислокацій, що утворилися при деформації, перебудови дислокаційної структури, зменшення щільності дислокацій і утворення сегрегацій або надлишкових фаз елементами

впровадження по границях зерен. Введення тугоплавких фаз типу карбідів $Me^{IV}C$ або оксидів $Me^{IV}O_2$, $Me^{III}O_3$ стабілізує структуру деформованого металу до більш високих температур, що приводить до зниження початку рекристалізаційної крихкості стопів. Але варто мати на увазі, що тривала робота при температурах вище t_p^H зводить нанівець поліпшення пластичності, досягнуте в результаті створення сприятливої структури при ТМО.

Твердорозчинне легування й дисперсне зміцнення погіршують оброблюваність стопів вольфраму, підвищують опір деформації. Деяке поліпшення технологічної пластичності низьколегованих (до 4-5% Mo, Re) розкислених стопів пов'язане з подрібненням зерна й перерозподілом домішок. Аналіз накопичених даних показує, що припустимий ступінь деформації знижується зі збільшенням об'ємної частки й ступеня дисперсності зміцнюючої фази [4,6, 12].

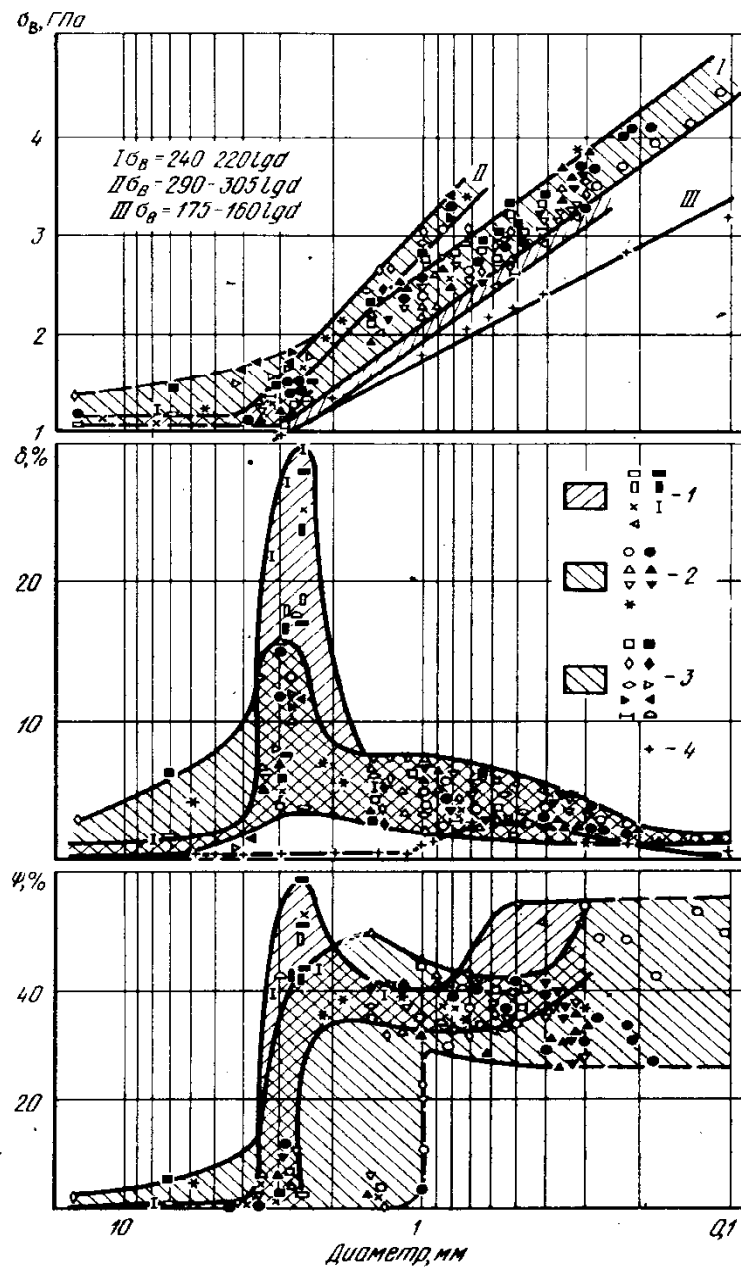


Рисунок 1.2.3 – Вплив ступеню деформації (діаметру прутка, проволочки) на границю міцності, відносне подовження відносно звуження поперечного перетину при кімнатній температурі низьколегованих [$\leq 5\%$ (по масі) Mo, Re] ступів вольфраму:

1 – низько вуглецеві сплави ВП, розкислені торієм або титаном (α_W);

- 2 - низько вуглецеві сплави ВП, $\leq 0,2\%$ (ат.), Hf ($\alpha_W + W_2C$ або $\alpha_W + (W, Hf)_2 C$);
- 3 – сплави ВП з високим [$\sim 0,3\%$ (ат.)] вмістом Hf та C [$\alpha_W + HfC$, $\alpha_W + HfC + (W, Hf)_2 C$];
- 4 – W, ВП або ПМ з алюмокремнелужними присадками (АКС, ВА)

1.3 Рекристалізація вольфрамових стопів

Температура початку рекристалізації чистого монокристалічного вольфраму становить $850-900^\circ\text{C}$ ($0,3-0,35 T_{пл}$). Легування некарбідоутворюючими ренієм та осмієм [до 10% (по масі)] підвищує t_p^p до $1550-1600^\circ\text{C}$ незалежно від вмісту вуглецю в стопі [0,5% (по масі)] (рисунок 1.2.1). Твердорозчинне легування 3-10% (ат.) Nb, Ta, Zr, Hf стопів з мінімальним [$\leq 0,005\%$ (по масі)] вмістом вуглецю підвищує t_p^p до $1550-1600^\circ\text{C}$, а при $1800-2000^\circ\text{C}$ у цих стопах починається збірна рекристалізація. Температура початку й кінця рекристалізації промислових та напівпромислових стопів вольфраму змінюється в широких межах залежно від типу легування, об'ємної частки й ступеню дисперсності зміцнюючої фази, ступеню попередньої деформації.

Міцність стопів вольфраму при кімнатній температурі, згідно [12, 14], становить 1,1 ГПа [моно кристал $\langle 110 \rangle$ із загальним вмістом домішок $\leq 0,1\%$ (ат.)]. Теоретична міцність вольфраму, визначена Гербером та співавторами на бездефектних нитках діаметром 0,01-0,1 мкм («вусах») становить ~ 20 ГПа. Міцність вольфрамових ниток діаметром 50-100 мкм, отриманих деформацією стопів з 27% (ат.) ренію (густиною дислокацій $\sim 10^{12} \text{ см}^{-2}$), досягає 5 ГПа.

За останні роки зросла цікавість до властивостей стопів вольфраму в тонких перетинах, як до матеріалу для армуючих волокон у КМ. Властивості традиційних стопів ПМ, використовуваних у вигляді тонких ниток в електроніці, світлотехніці й

інших галузях, такі як вольфрам з алюмокремніелужними присадками, торійований вольфрам добре вивчені [16, 10]. Сплави характеризуються високою температурою початку збірної рекристалізації ($\sim 2000^\circ\text{C}$) і специфічною «стапельною» або «бамбуковою» структурою, що складається з витягнутих уздовж осі тонких рекристалізаційних зерен. Матеріал з такою структурою стійкий проти повзучості, є не провисаючим, що визначає його застосування для ниток накаливання в електролампах.

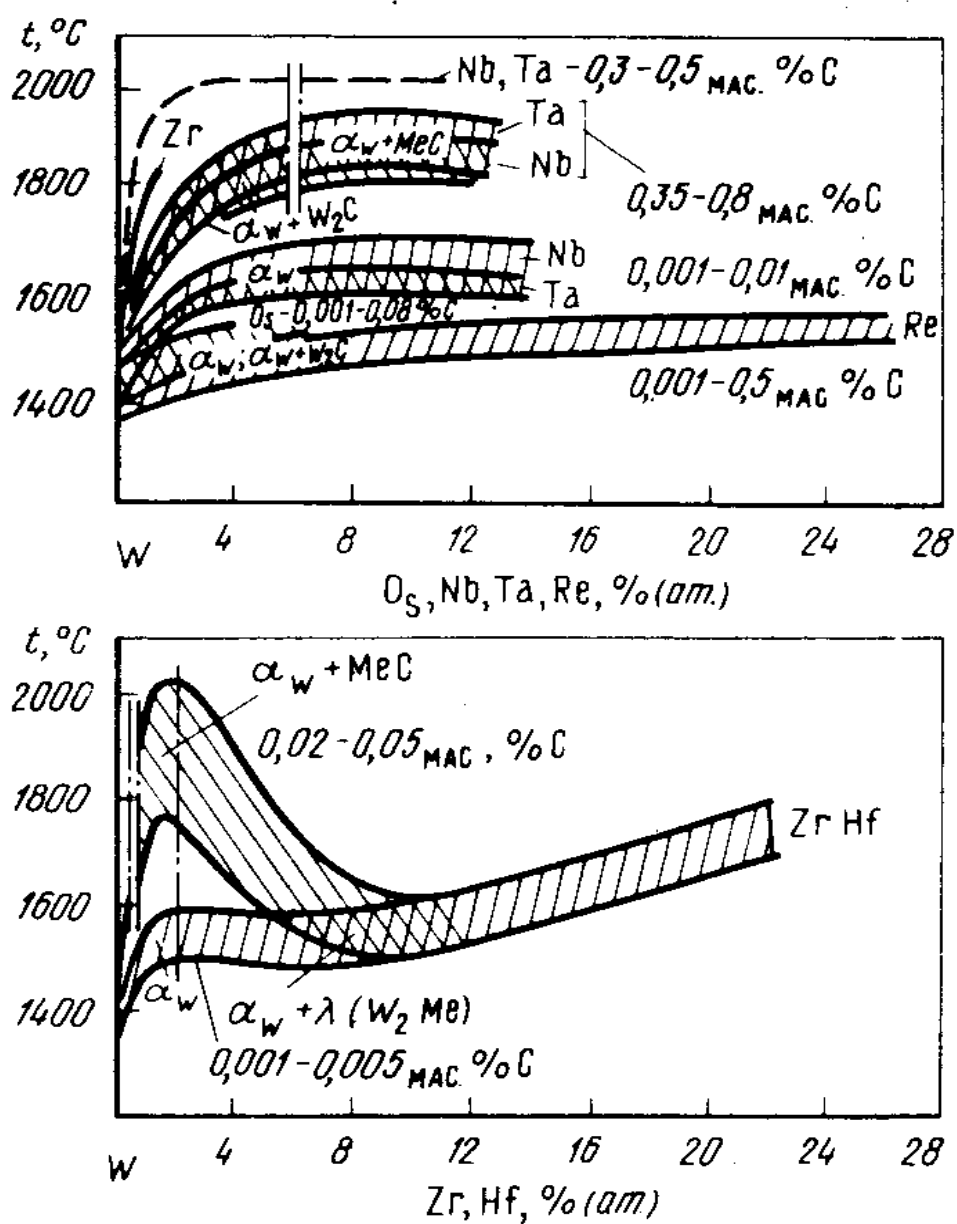


Рисунок 1.3.1 – Вплив легування на t_p^{II} вольфраму ВП з різним вмістом вуглецю

Вольфрам, при звичайних температурах, дає міжкристалітний злам. Дріт з рівновісною структурою розривається в поперечному напрямку й злам проходить по границях зерен. На противагу цьому дріт з волокнистою структурою має тенденцію до поздовжнього розщеплення й поділу на окремі волокна, особливо, якщо кування проходило при дуже низькій температурі. Виходячи із цього, можна сказати, що крихкість вольфраму з рівновісною структурою є результатом відсутності зчеплення між сусідніми зернами. Найбільш ймовірною причиною такої крихкості вольфраму є наявність між зернами плівок сторонніх матеріалів і, можливо, адсорбованих газів, чим пояснюється слабе міжкристалітне зчеплення.

В проведених до теперішнього часу дослідженнях рекристалізації вольфрамових стопів, що містять дисперсні частки, не існує єдиної точки зору на механізм росту зерен. Частина дослідників описує процеси, що відбуваються при відпалі двофазних стопів вольфраму, у термінах звичайної первинної й вторинної рекристалізації, вважаючи, що первинна рекристалізація починається шляхом утворення й подальшого росту зародків у деформовану матрицю. Однак останнім часом з'явилася велика кількість робіт, де показано, що рекристалізація двофазних вольфрамових стопів йде по механізму *in situ*, що має подібність із поверненням, яка протікає шляхом укрупнення субзерен [11,12]. У зв'язку із цим пропонується розглянути процеси, що відбуваються при відпалі стопів вольфраму, що містять ThO_2 , і впливу об'ємної частки зміцнюючих часток на швидкість росту зерен в інтервалі температур 1000-2400⁰С.

Дослідження проводилися на модельних стопах системи W- ThO_2 . зразки готувались методом порошкової металургії, окис торію в кількостях 0,5 – 2 мас. % (2 – 7,5 об. %) вводили при механічному змішуванні порошків вихідних продуктів. Отримані сплави характеризувалися рівномірним розподілом часток ThO_2 діаметром 0,8 – 1,2 мкм на середній відстані між ними від 2 до 10 мкм залежно від кількості добавок окислу торію. Деформація стопів здійснювалася ротаційним куванням зі ступенем обтиснення $\varphi \approx 75\%$.

Електронно-мікроскопічне дослідження стопів у вихідному деформованому стані показало, що всі зразки мали добре сформовану волокнисту структуру з середнім діаметром рівновісних комірок 1,2 – 1,7 мкм. Внутрішнє поле комірок практично вільне від дислокацій, які зосереджені на границях комірок. По границях комірок замість товщинних контурів спостерігається складний контраст, що вказує на існування поля пружних напружень від близько розташованих дислокацій (рисунок 1.3.1). Розорієнтація сусідніх комірок не перевищує $10-15^{\circ}$.

Вивчення процесів, що відбуваються при відпалі стопів, показало, що рекристалізація в них відбувається в кілька етапів. На початкових стадіях рекристалізації спостерігається зникнення деформаційного контрасту на границях комірок і поява товщинних контурів. Докладне дослідження цього явища було проведено в роботі [13], де його назвали «рекристалізацією границь» на відміну від звичайного прийнятого терміна рекристалізації деформованих зерен. Границі комірок, у яких уже пройшов процес релаксації, стають рухливими. В результаті їхньої міграції в сусідні області відбувається ріст комірок. Другим механізмом збільшення розміру субзерен є коалесценція сусідніх комірок, що мають близьку орієнтацію, за рахунок розосередження дислокацій, що становлять мало кутуову границю. Появи зародків нових зерен не було виявлено. Таким чином, на першій стадії рекристалізації відбувається процес релаксації границь, у результаті чого в структурі з'являються рухливі границі. Температура початку цього процесу одержала назву температури рекристалізації границь $T_{p. гр.}$ [13].

Для вивчення кінетики росту субзерен досліджувався розподіл зерен по розмірах після чергових відпалів в інтервалі температур $1000-2400^{\circ}\text{C}$ через кожні 100°C . Було встановлено, що характерний для деформованого металу первісний розподіл зерен (комірок) по розмірах з вузьким максимумом в області 102-107 мкм (рисунок 1.3.3а, 1.3.3б) змінюється на криву із двома максимумами, причому другий максимум більше розмитий (рис. 1.3.3в). Це означає, що в цьому випадку має місце перехідний стан, коли рухатися можуть лише окремі границі, а інші перебувають у

нерелаксованному стані. Міграція границь субзерен на сусідні ділянки приводить до того, що границі на своєму шляху поглинають дислокації, число дислокацій у границях збільшується, в результаті чого зростає розорієнтація сусідніх областей а границі стають більшкутовими. Температура появи другого максимуму на кривих розподілу зерен по розмірах названа температурою початку рекристалізації $T_p^{п*}$, що означає появу в структурі більшкутових границь.

З підвищенням температури відпалу обидва максимуми на кривих розподілу зміщуються у бік більших розмірів і відбувається одночасне збільшення частки крупних зерен за рахунок зменшення числа дрібних (див. рисунок 1.3.3). По мірі розвитку процесу в структурі виникає сильна різнозернистість, з'являється багато «відкритих» не замкнених границь, а границі крупних зерен ($d_{з\text{ер}} \sim 20-25 \text{ мкм}$) мають звивисту форму, вигини яких нагадують за формою й розмірами границі дрібних зерен (рисунок 1.3.3б). Перехідний етап завершується зникненням дрібних субзерен (рисунок 1.3.3б). Розподіл зерен по розмірах знову характеризується кривою з одним максимумом (див. рисунок 1.3.1). температура зникнення першого максимуму на кривих розподілу названа температурою кінця рекристалізації $T_p^{к*}$. При відпалах вище $T_p^{к*}$ відбувається швидка міграція більшкутових границь зерен по типу звичайної збірної рекристалізації.

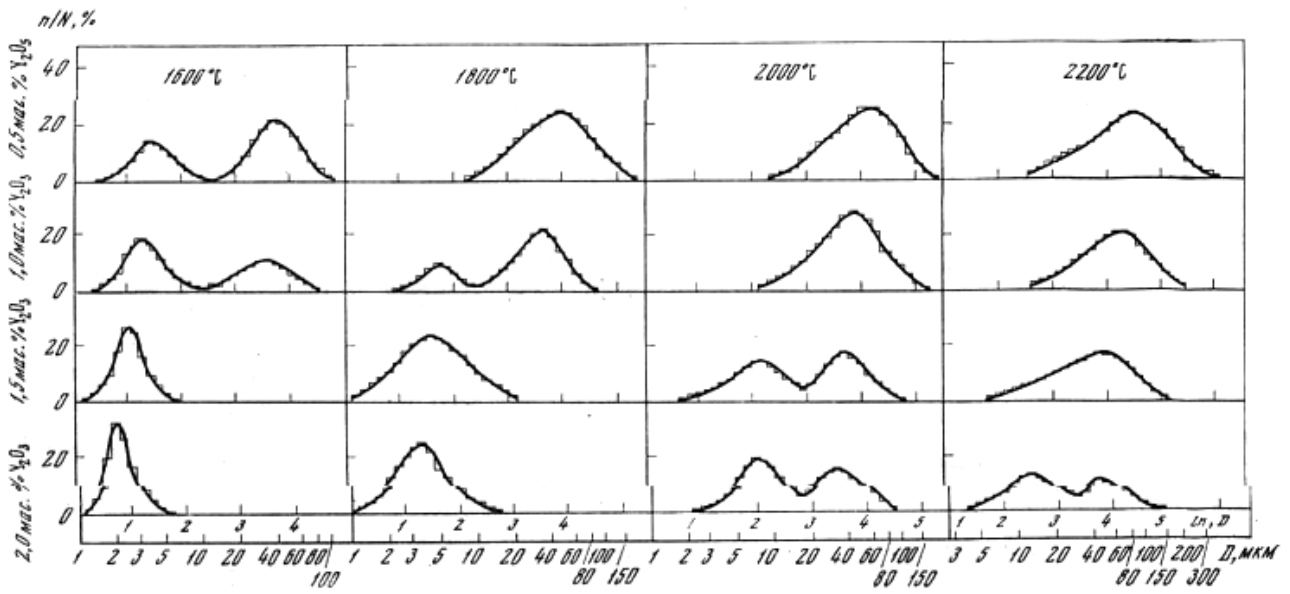


Рисунок 1.3.3. – Розподіл зерен по розмірам після відпалу.

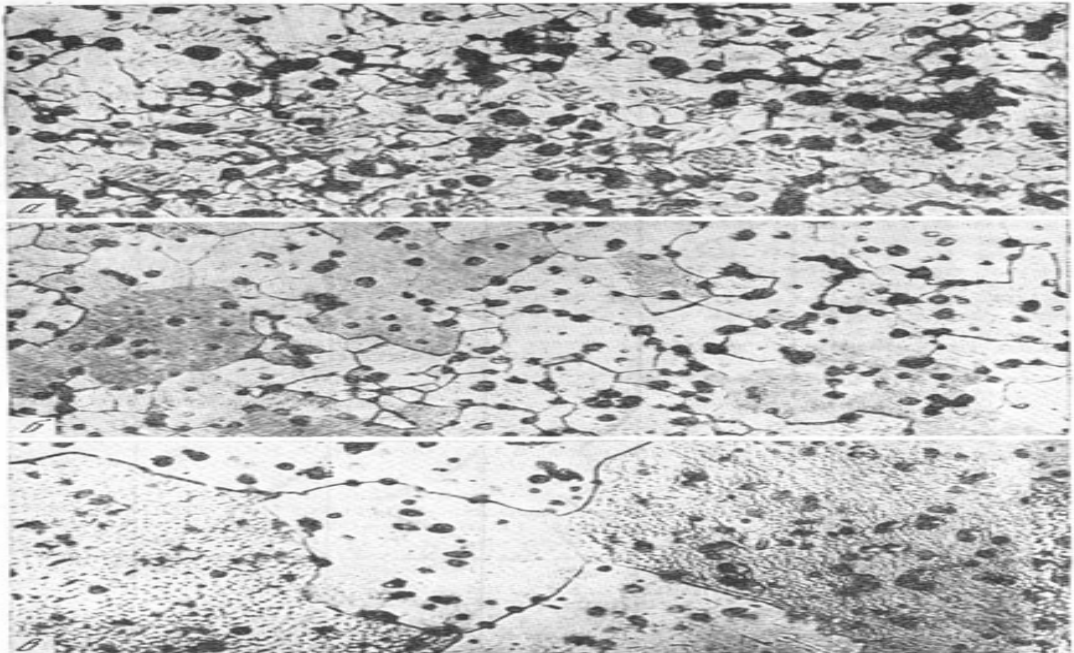


Рисунок 1.3.4. – Структура стопу після відпалу

а- стоп W+ 2мас.% ThO₂, T_{відп.} = 1600⁰С. Зб. 1600; б- стоп W+ 2мас.% ThO₂, T_{відп.} = 2200⁰С. Зб. 1000; в - стоп W+ 0,5мас.% ThO₂, T_{відп.} = 2200⁰С. Зб. 1000.

З метою визначення швидкості протікання процесів на різних стадіях рекристалізації було побудовано узагальнений графік залежності розміру зерна D від температури відпалу для стопів вольфраму чотирьох сполук (рисунок 1.3.4), де D оцінювався по знаходженню максимумів на кривих розподілу зерен по розмірах. З графіку видно, що швидкість росту дрібних зерен, обумовлена міграцією малокутових субграниць, значно менше швидкості росту крупних зерен, що обумовлена міграцією більшекутових границь. При цьому збільшення об'ємної частки часток окису торію сповільнює обидва процеси й зрушує їх в область більш високих температур.

Для оцінки гальмуючого впливу дисперсних часток на швидкість росту зерен були визначені енергії активації процесів у стопах вольфраму чотирьох сполук на різних стадіях рекристалізації. Енергія активації визначалася по нахилу залежності лінійної швидкості росту зерна (субзерна) від температури в координатах Арреніуса $\ln D - 1/T$. Наведені дані показують, що енергія активації росту зерен сильно залежить від об'ємної частки введеного окислу торію.. Так, для стопу $W + 0,5$ мас. % (2,0 об. %) ThO_2 енергія активації становить 21,6 кДж/г-ат. Ця величина близька до значення енергії активації релаксації субграниць 20-40 кДж/г-ат, визначеної в роботі [13]. Зі збільшенням вмісту ThO_2 енергія активації міграції субграниць різко збільшується й для стопу $W + 2,0$ мас. % (7,5 об. %) ThO_2 становить 115,2 кДж/г-ат. З фізичної точки зору цю енергію активації можна назвати енергією відриву субграниць від часток ThO_2 . Таким чином, зі збільшенням об'ємної частки дисперсних часток енергія активації росту субзерен різко збільшується.

Показником гальмуючого впливу дисперсних часток на швидкість росту зерен може служити також величина діаметру зерна. D^* , при якому частки ще «тримають» границі. Як видно з рисунок 1.3.4а, D^* монотонно зростає зі збільшенням об'ємної частки ThO_2 , тобто обернено пропорційно середній відстані між частками λ . На цьому ж рисунку маються дані по впливу об'ємної долі часток ThO_2 на величини енергій активації процесів, що відбуваються при відпалі

деформованих стопів (рисунок 1.3.4б), і температур їхнього зародження (рисунок 1.3.4в).

Таким чином, рекристалізація вольфрамових стопів, що містять дисперсні частки, здійснюється в кілька етапів. На першому етапі спостерігається релаксація малокутових границь, після чого вони стають рухливими. На другому етапі відбувається відрив малокутових границь від часток зміцнюючої фази і їхня міграція, що приводить до росту субзерен і збільшенню їхнього розорієнтування. Третій етап – швидкий зріст щодо крупних зерен по типу збиральної рекристалізації. Збільшення об'ємної долі часток ThO₂ сповільнює всі процеси й зрушує їх в область більш високих температур, причому ріст дрібних зерен найбільше ефективно загальмований з тої причини, що об'ємна доля зміцнюючої фази досить велика (більше 1мас. % при середньому діаметрі часток 0,8-1,2 мкм). Аналогічні процеси були виявлені в стопах вольфраму, зміцнених дисперсними частками карбідів.

1.4 Область застосування торійованого вольфраму

Торійований вольфрам і вольфрамо-ренійові сплави завдяки високим властивостям міцності знаходять широке застосування в композиційних матеріалах, де вольфрамовий дріт служить як арматура. Такі композиційні матеріали можна використовувати в інтервалі температур 1100...1300°C (при наявності нікель хромової матриці) [1,5].

Основним споживачем вольфрамового дроту є електровакуумна промисловість. Вольфрамові дроти застосовуються для виготовлення джерел світла й найрізноманітніших деталей електровакуумних приладів, починаючи від тіла розжарення й закінчуючи пружинами, гачками генераторних ламп і катодами

електронних і газорозрядних приладів, де використовується висока міцність і пружність вольфраму з підвищеними емісійними властивостями [8,10].

Застосовувані дроти виготовляються з вольфраму після легування вольфраму спеціальними неметалічними присадками, тому що нелегований вольфрам не забезпечує високої якості й надійності приладів.

Катоди рентгенівських трубок, що дають інтенсивне випромінювання, в основному виготовляють із вольфрамових стопів, тому що інтегральна інтенсивність суцільного спектру рентгенівських променів пропорційно порядковому номеру елементу, крім того, катод рентгенівської трубки сильно нагрівається та при навантаженні може розплавитися. Таким чином, вольфрам, маючи високу температуру плавлення, служить незамінним матеріалом для катодів рентгенівських трубок.

Для забезпечення нормальних умов роботи електровакуумних приладів і джерел світла, забезпечення їхньої якості й надійності, дріт, застосований для виготовлення деталей повинен мати наступні основні властивості: високу формостійкість (відсутність повзучості й провисання) при температурах до 2900°C; високу температуру первинної рекристалізації (не нижче 1700°C для тонкого дроту); крупнокристалічною структурою з поздовжніми границями в дроті діаметром менше 1мм після вторинної рекристалізації; мінімальним розпиленням при високих температурах. Дріт повинен легко піддаватися, формуванню, мати потрібні механічні властивості.

З розглянутих вимог, пропонованих до вольфрамового дроту як для застосування для армуючих волокон, так і для роботи в електровакуумних приладах треба, щоб сплави, з яких виготовляється дріт, мали максимальну жароміцність. Рівень жароміцності вольфрамових стопів значною мірою залежить від температури рекристалізації й стабільності досягнутої в процесі деформації тонкої структури. Процес рекристалізації вольфраму залежить від ряду факторів: вмісту домішок і

легуючих елементів, присутності часток зміцнюючої фази і їхньої морфології, від структурного стану, ступеню й температури деформації.

1.5 Формування структури й властивостей дроту з вольфрамових стопів в процесі технологічної переробки.

У зв'язку з вищезазначеним можна вважати, що реальними зміцнюючими волокнами для створення високоміцних композиційних матеріалів і перспективними для роботи у відповідальних електровакуумних приладах є дріт з вольфрамових стопів, зміцнених частками торію.

Однією з основних умов одержання вольфраму марок ВТ, ВТ15, ВТ10 з високими емісійними властивостями є дрібно дисперсний розподіл двоокису торію у вольфрамі. Властивості стопів із частками окису торію наведені в таблиці 1.5.1.

Таблиця 1.5.1 – Міцність і пластичність дроту з дисперснозміцнених ThO_2 вольфрамових стопів

Стоп	Дріт, мм	Границя текучості, МПа	Границя міцності, МПа	Відносне подовження, %
W – 1% ThO_2	0,5	2230	2250...2310	4,8
W–2% ThO_2	0,5	2185	2650...2750	4,5
W–5%Re-2% ThO_2	0,5	1930	2250	4,1
W–10% Re -2% ThO_2	0,5	1880	2450	4,1
W–15% Re - 2% ThO_2	0,5	1785	2210	2,8

Перспективними, як для застосування жароміцних матеріалів, так і в електровакуумній техніці, є дроти з вольфрамових стопів із частками окислів торію, додатково легованих ренієм. Реній вводять з метою підвищення пластичності й міцності, а також для поліпшення технологічності вольфраму. При введенні ренію різко знижується поріг холодноламкості й тим самим зростає низькотемпературна пластичність.

На основні властивостей дроту (міцність, пластичність, температуру рекристалізації, повзучість) повинні впливати: морфологія часток зміцнюючих фази, термомеханічні умови деформації при переробці.

1.6. Розшарування при волочінні

Процес розшарування являє собою специфічний вид руйнування матеріалів з волокнистою структурою. В дроті та прутку тріщина розшарування поширюється паралельно їхньої осі. Розшарування виникає внаслідок руйнування по границях сплюснених при деформації зерен. Автори [12], на підставі власних досліджень вважають що, розшарування деформованих тугоплавких металів у значній мірі обумовлено формуванням в процесі деформації шаруватої комірчатої структури, в якій границі комірок з високим рівнем пружних напружень паралельні площині прокатки. Тут же відзначається, що наявність дисперсних часток нерозчинних фаз, певна кристалографічна текстура, слабкість границь зерен, а особливо комірок, може підсилювати схильність деформованого металу до розшарування.

При дослідженні поверхні розшарування листів з деяких молібденових стопів виявлені вузькі /50-70E/ зони по границях комірок з підвищеною концентрацією домішок впровадження.

Розшарування вольфраму в процесі високотемпературної деформації автори [12] пов'язують з присутністю надлишкових фаз по границях зерен металу. Вважається, що цими фазами можуть бути складні окисні з'єднання за участю атомів калію, натрію, кремнію, кальцію й вольфраму, що утворилися в процесі високотемпературного відновлення й спікання вольфраму. На їхню думку, оптимізація кількості домішок і рівномірного розподілу їх по об'єму штабиків дозволить підвищити якість і значно знизити розшарування металу при подальшій обробці.

Для зменшення розшарування при волочінні вольфрамового дроту після досягнення ступеню обтиснення 97...98% запропоновано дріт піддавати електротермічній обробці [10]. Згідно даних [16], більш легке зародження й поширення тріщин у молібденових листах (отриманих методом порошкової металургії) пов'язане з ланцюжками карбідних часток.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі вивчали структуру і властивості прутків та проволочок із сплавів ВТ7, ВТ10, ВТ15, ВР10Т2.

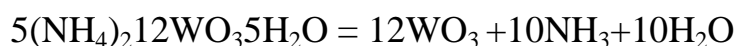
Хімічний склад сплавів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджених сплавів

Марка сплаву	Масова частка елементів, %						
	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Mo	ThO ₂	Re
ВТ7	0,0014	0,0019	0,002	0,002	0,003	0,7-1,0	-
ВТ10	0,0016	0,0017	0,001	0,001	0,006	1,1-1,4	-
ВТ15	0,0011	0,0015	0,003	0,003	0,005	1,5-1,75	-
ВР10Т2	0,0014	0,0017	0,002	0,002	0,003	1,5-1,75	10-10,5

2.1 Технологія виробництва торійованого вольфраму

Для отримання торійованих вольфрамових і вольфраморенієвих сплавів застосовується паравольфрамат амонія, отриманий шляхом перекристалізації хімічно чистої вольфрамової кислоти (ГОСТ 2197-78). Паравольфрамат прокалюється при температурі 800-850 °С до повного розкладення по реакції



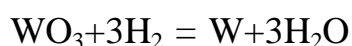
З прокаленого вольфрамового ангідрида виготовляють водну суспензію, у яку вводиться розрахована кількість розчину азотнокислого торія $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ з розрахунку вмісту 0,7-2,2 % двоокису торію до металевого вольфраму.

Після введення присадки суспензія випаровується і прокалюється при 800-850°C до повного розкладення азотнокислого торію.

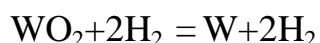
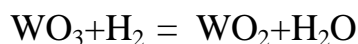


Для отримання порошків, що в подальшому йдуть на виготовлення сплавів марок ВТ7, ВТ10, ВТ15, наступною операцією є відновлення в багатотрубних електропечах в атмосфері водню.

Для отримання крупнозернистого порошку відновлення ведеться в одну стадію:



Отримання дрібнодисперсних порошків здійснюється в дві стадії



Для отримання шихти сплаву ВР10Т2 прокалений вольфрамовий ангідрид з присадкою ThO_2 (вміст 1,9...2,2% від вольфраму) перемішується з попередньо розмолотим і просіяним через сітку 200 меш (0071 ГОСТ 6613-73) перренатом амонія (амоній ренієвокислий NH_4ReO_4 у фарфорових млинах із розрахунку металевого ренія, рівного 10+0,5%. Шихта після перемішування потрапляє на двостадійне відновлення у багато трубчатую піч в атмосфері водню.

Порошки після другої стадії відновлення підлягають просіву через сито 180-200 меш (0071 ГОСТ661-73), потім звожуються пластифікатором (розчин гліцеріна в спирті у співвідношенні 1:1 (з розрахунку 3/5 см² на кілограм порошку і поступають на пресовку.

Спресовані штабики підлягають попередньому спіканню у муфельній печі. Після попереднього спікання штабики потрапляють на високотемпературне спікання – зварювання.

Щільність штабиків визначали методом гідростатичного зважування з точністю $\pm 0,05 \text{ г/см}^3$.

Потім штабики деформують ковкою на ротаційно-ковочних машинах, після чого вони підлягають волочінню на цепних і блочних станах. [6]

2.2 Ковка штабиків на ротаційно-ковочних машинах

Зварений штабик міцний, але крихкий і не може деформуватися при кімнатній температурі без руйнування. При більш високих температурах він стає більш пластичним і при температурі близько $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ його можна прокувати або прокатати.

Вольфрамовий штабик проковується в пруток способом так званої ротаційної ковки, що здійснюється на ротаційній ковочній машині.

Рівновісні зерна звареного штабику при обробці подрібнюються і розтягуються вздовж вісі заготовки, утворюючи волокна.

Ця структура і надає проволочі пластичності. Якщо метал нагрівається вище температури рекристалізації, ця структура замінюється крупними рівновісними зернами і проволока стає крихкою.

Вольфрам в цьому відношенні не схожий на звичайні метали, що стають при холодній обробці більш твердими і більш м'якими і, пластичними після рекристалізації, викликаної відпалом. [16]

Крихкість вольфраму у рівновісному стані, що є характерною особливістю навіть чистого металу, важко пояснити, оскільки окремі кристали вольфраму надзвичайно пластичні. Пластичність волокнистого матеріалу очевидно обумовлена тим, що насправді він складається з паралельних, однаково орієнтованих кристалів, кожен з яких є пластичним. [17]

При розриві звичайних металів при кімнатній температурі злам проходить через кристаліти, але не помежах між ними.

Вольфрам при звичайних температурах дає міжкристалітний злам. Проволока з рівновісною структурою розривається у поперечному напрямку і злам проходить по межах зерен.

Протилежно цьому проволока з волокнистою структурою має тенденцію до повздовжнього розщеплення і розділу на окремі волокна, в особливості, якщо ковка проводилась при дуже низькій температурі.

Таким чином, крихкість вольфраму з рівновісною структурою є результатом відсутності зчеплення між сусідніми зернами. Найбільш ймовірною причиною такої крихкості вольфраму є наявність між зернами, навіть у найбільш чистому металі, плівок зі сторонніх матеріалів і, можливо, адсорбованих газів, чим пояснюється слабке міжкристалічне зчеплення. [14]

2.3 Умови волочіння

Подальше зменшення перерізу проволоки відбувається волочіння через філь'єри. Точний діаметр прутка, що поступає після ковки, не істотний і звичайно залежить від розміру вихідного штабика.

Прокований вольфрам має твердість за Вікерсом 450...475 од. Оскільки протяжка відбувається в гарячому стані, то вибір матеріалів фільтер дуже обмежений. Алмазні фільтери дають найкращу поверхню і рівномірний діаметр і широко застосовуються для волочіння проволочи всіх розмірів нижче 0,25-0,30 мм в діаметрі. Для виготовлення перехідних фільтер більшого розміру застосовуються тверді сплави. [15]

Застосовуються фільтери із карбідів вольфраму; але менше 0,25 мм застосовуються рідко внаслідок швидкому зносу.

Перехід від ковки до протяжки є найбільш відповідальною і небезпечною стадією процесу обробки, на якій часто виникають розшарування і тріщини. Пруток, прокований при низькій температурі, може бути більш пластичним, але, як правило, він менш придатний до протяжки, ніж більш крихкий матеріал, отриманий ковкою при високих температурах.

Тенденція до розшарування зменшується, якщо проволочу перед проходженням через фільтеру нагріти до температури 1000-1100 °С. При зменшенні діаметра проволочи до 0,1 мм, температура нагріву поступово знижується до 600-700 °С.

В даному дослідженні волочіння вольфрамової проволочи від діаметру 2,75 до 1,3 мм проводили на цепному стані ЦС28 з газовою піччю, швидкість волочіння 3...18 м/хв. Як робочий інструмент використовувались фільт'ери з твердого сплаву ВК-6.

Температура нагріву під волочіння із зменшенням діаметру проволочи поступово знижується з 1100 °С до 950°С. Швидкість волочіння становить 9 м/хв.

Подальше волочіння вольфрамових проволоки до діаметра 0,5мм проводили на блочних станах МВ-3000 і МВ-1000 з нагріванням у газових печах.

Температура волочіння в залежності від діаметра становила 900-750 °С. Швидкість волочіння становила 9...12 м/хв. Волочіння до діаметра 0,049 мм здійснювали на волочильних машинах МВ500, МВ300, МВ100. При волочінні проволочок діаметром менше 0,30 мм використовували філь'єри зі штучного алмазу. Нагрів проволочок перед волочінням здійснювали в електричній печі зі стрічковим нагрівачем з нікель-хромового сплаву. Для попередження розшарування і обриву проволочок під час волочіння до малих діаметрів проводили проміжні відпали в діаметрах 0,520/0,500; 0,300/0,280; 0,190/0,180; 0,120/0,112мм. Відпал проволочок для здійснення повільної рекристалізації проводили при температурі 1400-1550°С в електричних печах з молібденовими стрічковими нагрівачами в атмосфері водню.[14]

2.4 Контроль якості проволоки

Якість проволочок діаметром 1,3 мм після волочіння на цепному стані та блочних станах МВ-3000 і МВ-1000 оцінювали за допомогою визначення кількості розшарованого металу на дефектоскопі ВД-20П. Кількість розшарування визначали у відсотках як відношення довжини проволочок з розшаруванням до її загальної довжини.

2.5 Методика проведення експериментів

Випробування короткотривалої міцності проводили за стандартною методикою на розривній машині FM-250. Нагрівання зразків здійснювали у спеціальній трубчатій печі у середовищі аргону. Відносне звуження зразків проволочок вимірювали за допомогою інструментального мікроскопа.

У зв'язку з тим, що частинки ThO_2 важко відрізнити від пор, котрі завжди присутні у штабиках, дисперсність частинок оцінювали за допомогою мікрорентгеноспектрального аналізатора MS-46. При цьому, оскільки частинки двоокису торію мають розмір менше діаметра зонда, про їх відносну величину судили по висоті піків інтенсивності випромінювання (вважали, що чим вище пік на діаграмі, тим крупніше частинка).

Дослідження мікроструктури штабиків і прутків проводили на поперечних шліфах з використанням реактиву Муракамі й мікроскопа МІМ-8.

Вихідним параметром був показник вихідного, обумовлений як відношення ваги отриманих дротів, до ваги спечених штабиків.

Пластичність матеріалу при звичайних температурах визначали, вимірюючи кут закручування зразків, виготовлених із прутків.

Схильність дроту до розшарування оцінювали коефіцієнтом $K_{\text{рас}}$, що являє собою відношення довжини вже розшарованого дроту до всієї довжини дроту, отриманого з одного штабика. Довжину розшарованої ділянки дроту визначали струмовихровим методом.

Випробування зразків сплавів ВТ-15 і ВР10Т2 на розтяг проводили на розривній машині "Instron" при «кімнатній» температурі (20 °С). Вивчення поверхні руйнування зразків здійснювали за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМП-4.

Для проведення досліджень на крутіння від декількох технологічних партій відібрали по чотири прутка діаметром 5,4мм. Потім всі прутки, що залишилися, піддали деформації волочінням. Після волочіння визначили кількість розшарованої проволони.

Відкладені прутки технологічних партій були випробувані на крутіння при звичайних температурах.

Мікроструктуру зразків виявляли у реактиві Муракамі і досліджували за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8 при збільшенні від 100 до 400 і за

допомогою електронного мікроскопа УМВ-1000 при збільшенні 1000-30000. За допомогою електронного мікроскопа досліджували репліки і фольги. Вугільні репліки відокремлювали у реактиві Мураками при напрузі 5 вольт. Для виготовлення фольг, від зразків відокремлювали шайби товщиною 1мм, потім їх потоншували механічно, шліфівкою на абразивному папері. Остаточо проводили електролітичне потоншення у розчині, що складається з 95мл. сірчаної кислоти і 5мл. спирту.

Щільність струму при електрополіруванні становила 1,4...1,7 А/см². Після потоншення фольги промивали у воді і метанолі.

Злами проволоков досліджували методом електронно-оптичної фрактографії за допомогою растрового електронного мікроскопа “Стереоскан 4-10” , при збільшеннях 500-1500 разів. Досліджували характер сколів, отриманих в умовах кімнатної температури.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА НА РОЗПОДІЛ ДВООКИСУ ТОРІЮ У ВОЛЬФРАМОВИХ СПЛАВАХ

Одним з найвідоміших видів композиційних матеріалів є дисперсно- зміцнені сплави, у які штучно вводять частинки зміцнюючої фази. До таких композиційних матеріалів відносять торійовані і вольфраморенієві сплави.

Під час виготовлення деталей застосовують згинання та зварювання проволоку із вольфрамових сплавів, зміцнених частинками ThO_2 . Для успішного виконання вказаних технологічних операцій бажано використовувати проволоку, не схильну до розшарування, що не завжди притаманне проволокам з вольфрамоторієвих сплавів, які випускаються промисловістю.

Дріт з вольфрамових сплавів, що випускається промисловістю, не має достатньої міцності у поперечному напрямку (схильний до розшарування).

Причинами, що підвищують схильність його до розшарування можуть бути крупні частинки ThO_2 , пори, які залишаються після спікання, і домішки (окисли металів), що концентруються на поверхнях присутніх в полікристалічних матеріалах. З метою дослідження впливу вказаних причин на схильність вольфрамових матеріалів до розшарування вивчили структуру сплаву ВТ15 у вигляді дроту діаметром 1,0 мм, що був виготовлений за заводською технологією.

Дослідження структури дроту показало наявність як дрібних частинок розміром менше 100 нм (наночастинок), так і великих, що мають розмір більше 500 нм (рисунок 3.1).

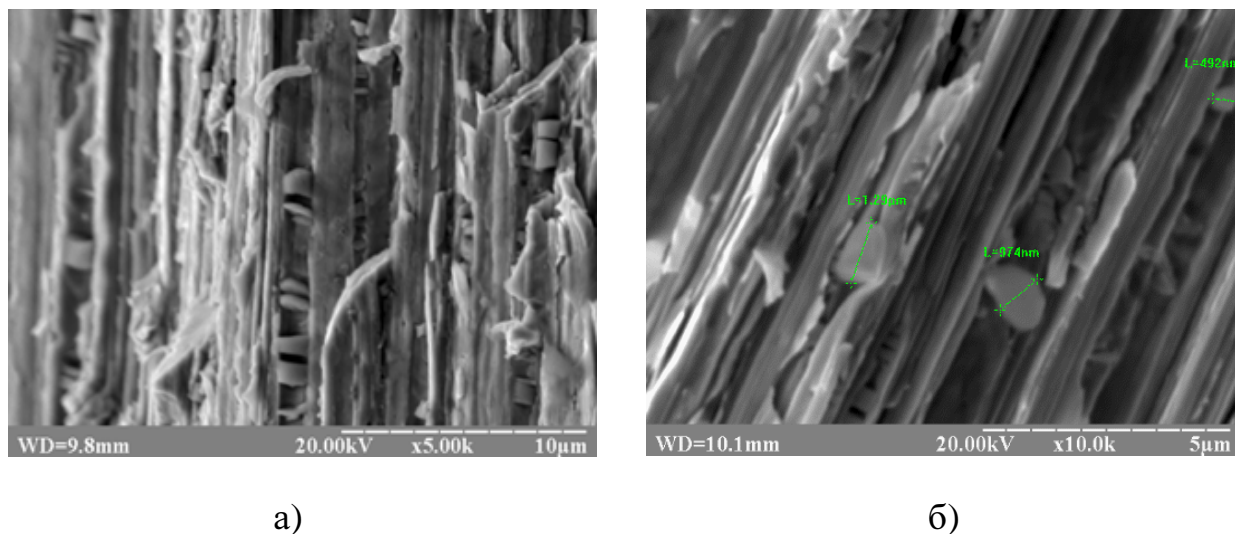


Рисунок 3.1 – Структура сплаву VT15 при меншому (а) та більшому (б) збільшенні

Як видно з рис. 3.1, великі частинки ThO_2 при деформаційному переробленні витягуються вздовж осі дроту і розриваються з утворенням додаткових пор в структурі матеріалу. Така тенденція зберігається для частинок з розмірами від 200 нм і більше, а частинки розміром менше 200 нм лише витягуються вздовж осі дроту, без утворення пор і, ймовірно, менше сприяють розшаруванню. Аналогічно впливають і пори, що практично завжди присутні в спечених порошкових матеріалах. Таким чином зменшення кількості домішок, пор і частинок ThO_2 розміром більше 200 нм у вказаному матеріалі повинно б понизити його схильність до розшарування.

Другим істотним недоліком вольфрамових матеріалів є високий поріг холодноламкості у рекристалізованому стані, що призводить до необхідності застосування спеціальних заходів для захисту напівфабрикатів від механічних впливів, що виникають під час технологічних операцій і експлуатації виробів.

Згідно даним, однією з головних причин високого порогу холодноламкості полікристалічного вольфраму є наявність атомних сегрегацій домішок впровадження і виділень крихких фаз на межах зерен, що різко знижує їх міцність. Досягнути тієї ступені чистоти вольфраму, що виключила би негативний вплив домішок впровадження в умовах промислового виробництва практично неможливо.

Зниження порогу холодноламкості вольфраму можливо шляхом проведення гарячої пластичної деформації, що призводить до утворення розорієнтованої комірчастої структури. У такому матеріалі механічні властивості визначаються розміром комірки, подібно тому, як властивості метала залежать від розміру зерна. Однак під час нагріву до температури рекристалізації, комірчаста структура зникає, і поріг холодноламкості стає вище кімнатної температури. Тому температура рекристалізації у багатьох випадках є і максимальною робочою температурою. [16]

Підвищення температури рекристалізації часто досягається шляхом введення у матеріал дисперсних частинок другої фази.

Дисперсні частинки другої фази чинять дві наступні протилежні дії на розвиток первинної рекристалізації деформованих сплавів:

- утворення зародків може прискорюватись особливо у тих випадках, коли частинки другої фази порівняно великі. Якщо вони дуже малі, утворення зародків може уповільнюватись або бути зупинено взагалі.

- ріст нових зерен завжди уповільнюється завдяки взаємодії рухомої границі зерен з дисперсними частинками, особливо, якщо останні малі і багаточисельні.

Якщо дисперсні частинки дуже грубі (мають діаметр декілька мікрон), то, очевидно, під дією деформації вони викликають локальну концентрацію

спотворень ґратки, що у свою чергу підвищує швидкість утворення зародків у матриці поблизу таких включень.

Оскільки частинки сприяють утворенню центрів рекристалізації, зерно стає дрібнішим і у цілому рекристалізація прискорюється.

Наприклад, введення у вольфрам частинок ThO_2 призводить до підвищення температури рекристалізації і відповідно робочої температури на 400 - 500 °С. Теорію рекристалізації таких сплавів розроблено Кривоглазом, Масюкевичем, Рябошапкою, і експериментальні результати, дозволяють у подібних матеріалах розрізнити два етапи рекристалізації: повільну і швидку. Повільна рекристалізація, згідно результатам, відбувається при відносно невисоких температурах, коли рухома сила процесу недостатня для відриву границь від частинок і границя може переміщуватися, тільки разом з частинками.[4]

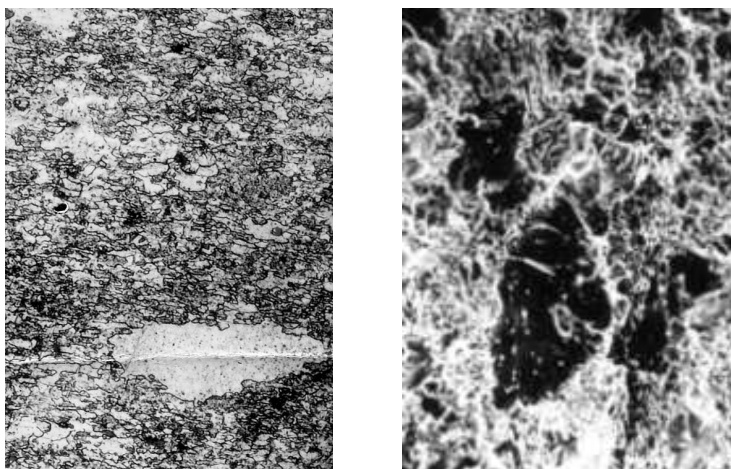
Швидка рекристалізація можлива при більш високих температурах, коли зростаюча рухома сила відриває границю від частинок. Як правило, це призводить до зникнення комірчастої структури і підвищення порогу холодноламкості.

Деформацію вольфрамоторієвих прутків, зокрема волочіння, проводять при температурах до 1100 °С (тобто істотно нижче температури рекристалізації), комірки і зерна при цьому витягуються у напрямку розтягувальних напружень. Це сприяє підвищенню схильності проволоки до розшарування з розповсюдженням тріщини вздовж границь комірок і зерен. Зменшити вказаний ефект шляхом підвищення температури деформації небажано внаслідок істотного зниження стійкості використаного інструменту (наприклад, філь'єр). Компроміс між пластичністю проволоки при звичайних температурах і схильністю її до розшарування зручніше встановлювати

регулюючи температуру відпалу таким чином, щоб відбувалась повільна рекристалізація при повній відсутності процесу швидкої рекристалізації.

З метою дослідження закономірностей зміни структури і властивостей торійованого вольфраму під час проведення відпалу на повільну рекристалізацію, в рамках технологічних можливостей порошкової металургії досліджували промислові сплави ВТ7, ВТ10, ВТ15 і ВР10Т2. Для цього проводили проміжні відпали з метою здійснення повільної рекристалізації вказаних дисперснозміцнених композитів. Однак, у зв'язку з тим, що розмір частинок другої фази (ThO_2) у промислових сплавах змінюється у 10 – 20 разів, реалізувати таку технологію виявилось проблематично.

Після відпалу за обраним режимом у місцях розташування крупних частинок другої фази спостерігали проходження швидкої рекристалізації з утворенням крупних зерен без комірчастої структури (рисунок 3.2) і відповідне зниження фіксованої пластичності матеріалу. Так кут закручування прутка при випробуваннях знижувався з 250° до $30 - 50^\circ$).



а

б

Рисунок 3.2 - Структура проволочки зі сплаву ВР10Т2 після відпалу на повільну рекристалізацію (1600 °С, 0,5 ч) у місці розташування крупних частинок ThO_2 ; а – мікроструктура $\times 500$, б - поверхня зламу $\times 1500$.

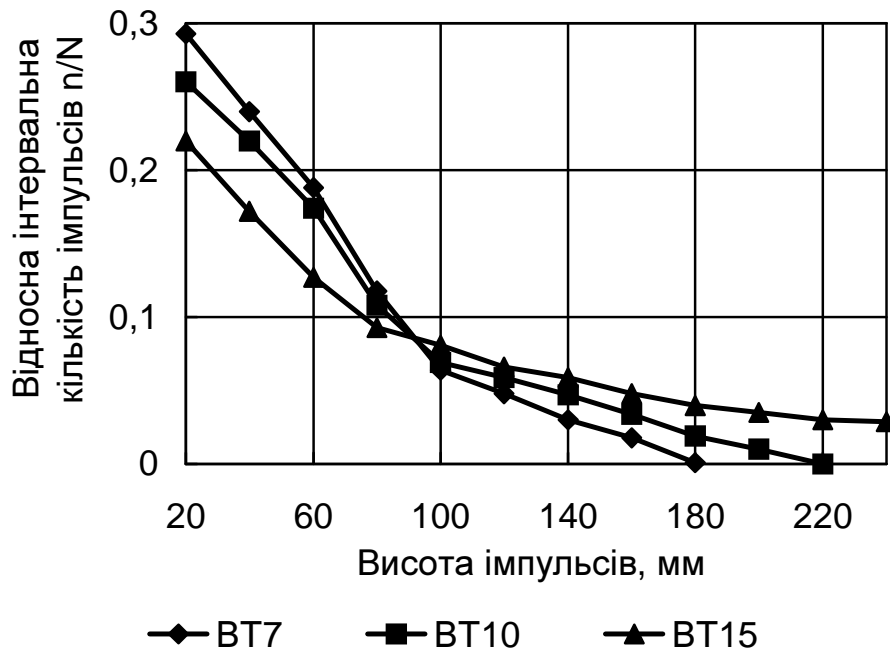
У місцях з дисперсними частинками зберігалась структура з дрібних зерен, витягнутих вздовж напрямку розтягу і пластичність матеріалу у цих місцях була істотно вище (кут закручування мав значення 280 – 300 °). Однак подальша деформація цих ділянок матеріалу призводила до їх розшарування.

Розшаруванню проволочки також сприяють і крупні витягнуті у процесі деформації частинки ThO_2 , що, по сутності, діють як неметалеві включення. [17]

3.1 Вплив вмісту та технології введення зміцнюючої фази на розподіл її частинок за величиною

З тим щоб вивчити вплив вмісту ThO_2 на дисперсність її частинок провели дослідження зразків зі сплавів ВТ7, ВТ10, ВТ15. Результати досліджень сплавів ВТ7, ВТ10 і ВТ15, отриманих за технологією, прийнятою на заводі

«Победит» (введення азотнокислого торію у вольфрамовий ангідрид і зварювання штабиків при температурі 0,9 від температур топлення) наведені на рисунку 3.2.



N – загальна кількість імпульсів;

p – кількість імпульсів в даному інтервалі;

Рисунок 3.2 – Вплив вмісту двоокису торію на дисперсність її частинок.

Зварювання штабиків здійснювалось при температурі 2700 °С.

З рисунку видно, що дисперсність частинок знижується з підвищенням концентрації ThO₂. Так сплав VT7 містить тільки дисперсні частки (рисунок 3,3 а), а сплав VT15 містить частинки, що перевищують розмір зонду (5 мкм) (рисунок 3,3 б). Звичайно ці частинки підвищують схильність проволочки до розшарування і в місцях їх розташування рекристалізація буде відбуватися

більш інтенсивно порівняно з ділянками де є дрібні частинки. Це призводить до нерівномірної структури після відпалу.

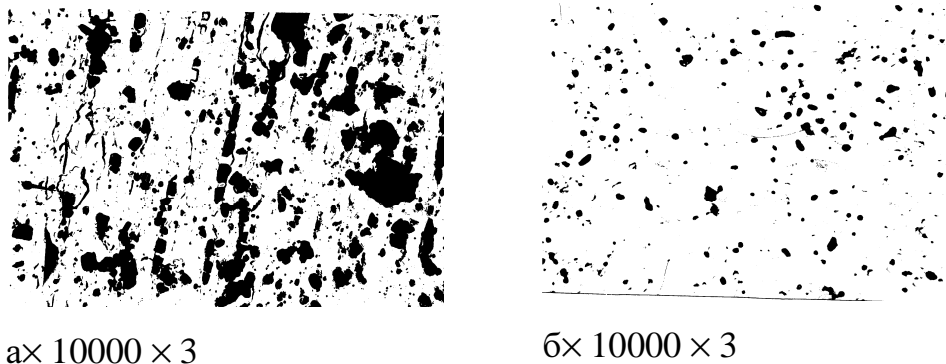


Рисунок 3.3 – Дисперсність частинок ThO_2 а – в сплаві ВТ15 і б – в сплаві ВТ7

З метою дослідження можливості отримання більш однорідного розподілу частинок ThO_2 у вказаних матеріалах досліджували різні технологічні варіанти отримання даних дисперсно-зміцнених композитів.

У виробництві вольфрамоторієвих сплавів звичайно використовують хімічний спосіб введення двоокису торію. Відомі наступні технологічні варіанти цього способу:

- введення розчину азотнокислого торію у вольфрамовий металевий порошок;
- введення розчину азотнокислого торію у частково відновлений вольфрамовий ангідрид
- введення розчину азотнокислого торію у вольфрамовий ангідрид.

Для дослідження впливу вказаних способів введення азотнокислого торію на дисперсність частинок ThO_2 за вказаними варіантами виготовили три

експериментальні партії торійованого вольфраморенієвого сплаву ВР10Т2. Цей сплав вибраний для дослідження як той, що містить найвищу концентрацію ThO_2 серед виробляємих в цеху.

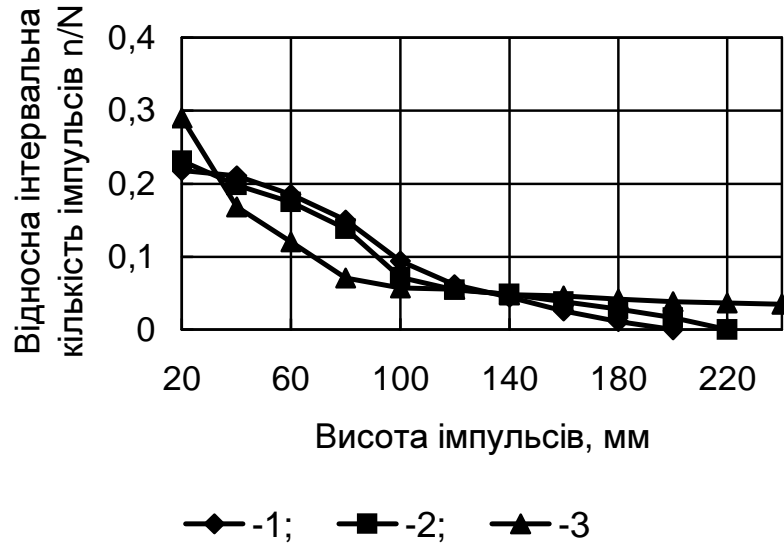
Відомо, що на дисперсність частинок ThO_2 можуть спричинити істотний вплив високотемпературні технологічні нагріви – зварювання штабиків і відпал прутків. Тому в даному експерименті, окрім способів введення азотнокислого торію, також досліджували вплив таких технологічних параметрів, як температура зварювання штабиків і відпалу прутків.

З метою дослідження можливості отримання зміцнюючої фази, яка не містить крупних частинок, виготовили штабики за першим, другим і третім технологічними варіантами і зварювали їх при температурах 2400 і 2550 °С. Результати досліджень, що стосуються розподілу частинок ThO_2 в даних матеріалах, наведені на рисунку 3.4.

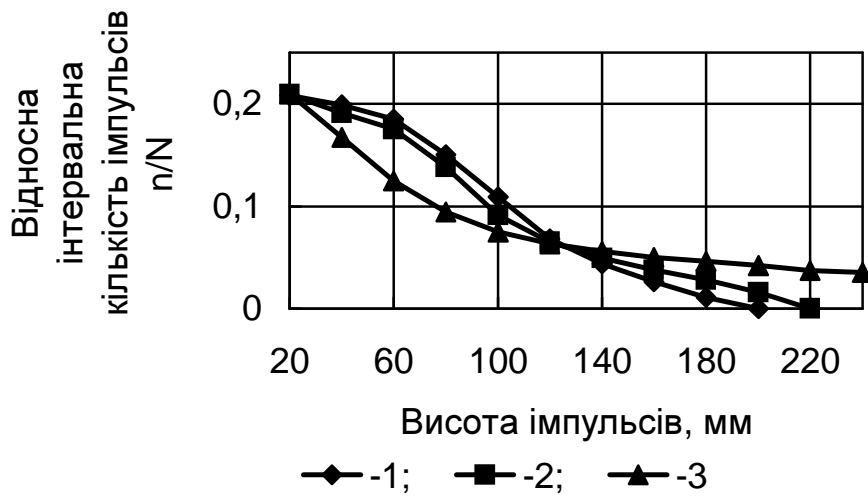
Порівнюючи розподіл частинок ThO_2 (див. рисунок 3.4 а), видно, що об'ємна доля найменших частинок є найбільшою у матеріалі, отриманому за третім технологічним варіантом. Дещо менше вона за другим і ще менше – за першим варіантом введення азотнокислого торію. Об'ємна доля самих крупних частинок змінюється у зворотному порядку. З підвищенням температури зварювання до 2550 °С об'ємна доля найменших частинок за всіма варіантами стає приблизно однаковою (див. рисунок 3.4 б), при цьому об'ємна доля крупних частинок найбільш істотно зростає у третьому варіанті.

Наявність значної об'ємної долі дрібних частинок у матеріалі, отриманому за третім технологічним варіантом, можна пояснити наступним: розмір отриманих частинок порошку металу в багатьох випадках визначається розміром частинок вольфрамового ангідриду. При відновленні в оптимальних умовах (невисокі температури, сухий водень, незначний шар порошку) з однієї

частинки вольфрамового ангідриду утворюється одна частинка металевого порошку.



а



б

n – кількість імпульсів в даному інтервалі;

N – загальна кількість імпульсів

1 - введення азотнокислого торію в металевий порошок вольфраму;
2 - введення азотнокислого торію в частково відновлений ангідрид вольфраму;

3 - введення азотнокислого торію в ангідрид вольфраму

а – температура зварювання 2400 °С;

б – температура зварювання 2550 °С

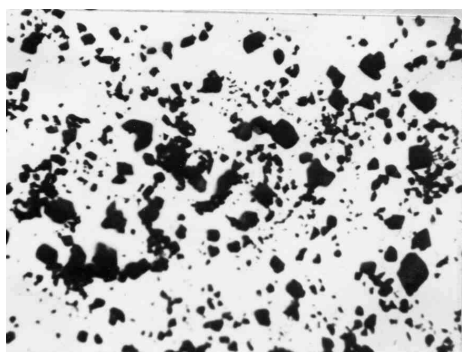
Рисунок 3.4 – Розподіл за розміром частинок ThO_2 в штабиках зі сплаву ВР10Т2.

Об'єм металевої порошоківки у цьому випадку менше об'єму порошоківки вольфрамового ангідриду, а отже, є меншою і поверхня металевого порошоків (порівняно з поверхнею частинок порошоків вольфрамового ангідриду, з якого отримана така ж кількість металевого порошоків. У випадку введення розчину азотнокислого торію у порошоків вольфрамового ангідриду він розподіляється по більшій поверхні, ніж при введенні його у металевий порошоків. Ймовірно, саме більша поверхня сприяє кристалізації дрібних частинок солі азотнокислого торію, з яких при наступному нагріванні утворюються дрібні частинки ThO_2 .

Наявність окремих крупних частинок у третьому технологічному варіанті, ймовірно, пов'язано з тим, що в процесі прокалювання паравольфрамату у печах з муфелем, що обертається, відбувається окомковування (рисунок 3.5) (зчеплення окремих частинок) порошоків WO_3 , і як наслідок, збільшення розміру пустот між ними. У відносно крупних пустотах може накопичуватися розчин азотнокислого торію з наступним утворенням окремих крупних частинок ThO_2 .

Утворення крупних частинок ThO_2 внаслідок зліплювання спостерігали автори цієї роботи в якій за допомогою світлової і електронної мікроскопії (метод двоступінчатих реплік) досліджували розмір, форму і розподіл частинок

окси́ду тори́ю (5%) у вольфрамовому дроту. При цьому показано, що торійовані вольфрамові прутки мають строчечну структуру, часто спостерігаються крупні, до декілька мікрон у діаметрі, частинки ThO_2 витягнутої форми, розташовані у великокутових міжзеренних межах. Крім того, зустрічаються дрібні (менше 0,1 мкм) частинки, що знаходяться всередині кристалітів вольфраму.



× 1000 × 3

а



× 1000 × 3

б

Рисунок 3.5 – Вольфрамовий ангідрид (а) і металевий порошок вольфраму (б)

Укрупнення частинок ThO_2 , що відбувається під час зварювання (рисунок 3.6) особливо помітне в штабиках третього варіанту. Ймовірно, внаслідок часткового відновлення торію при високих температурах до металевого стану, його розчинення у вольфрамі і наступної дифузії. При цьому, чим більше різниця у розмірі частинок, тим швидше відбуваються вказані процеси.

Зберегти вищу дисперсність частинок ThO_2 , які утворюються при застосуванні третього технологічного варіанту, простим зниженням температури зварювання практично неможливо, оскільки це призводить до зниження густини сплаву і збільшення холодних кінців штабиків, що в свою

чергу призводить до зниження важливого економічного показника виходу годного (таблиця 3.1).

Таким чином, третій варіант порівняно з другим більш простий у виробництві, однак не дозволяє запобігти утворенню окремих відносно крупних частинок ThO_2 . Перший і другий технологічні варіанти вільні від вказаного недоліку, проте основна частка частинок ThO_2 в першому варіанті у 2 – 4 рази крупніше, ніж у третьому варіанті, що істотно знижує високотемпературні властивості дисперсно-зміцненого композиту. Крім того, перший варіант потребує додаткового нагріву металевго порошку у відновлювальній атмосфері для переводу азотнокислого торію у частинки ThO_2 . Враховуючи відсутність технологічних заходів які б дозволили уникнути укрупнення дрібних частинок під час зварювання штабиків, отриманих за третім варіантом, найбільш доцільним для використання є другий варіант.

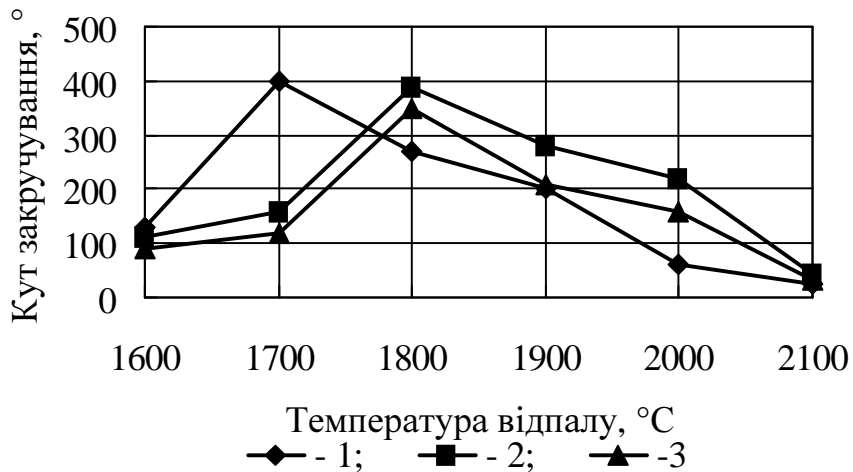
Таблиця 3.1 – Залежність властивостей дроту із сплаву ВР10Т2 від технології виготовлення

Характеристика напівфабрикату	Температура зварювання, °С					
	2400			2550		
	№ технологічного варіанту					
	1	2	3	1	2	3
Густина, штабіку $\pm 0,02$, г/см ³	17,9	17,6	17,3	19,1	19,0	18,8
Вихід годного (пруток 8 мм), $\pm 0,8$, %	89	83	81	92	90	89

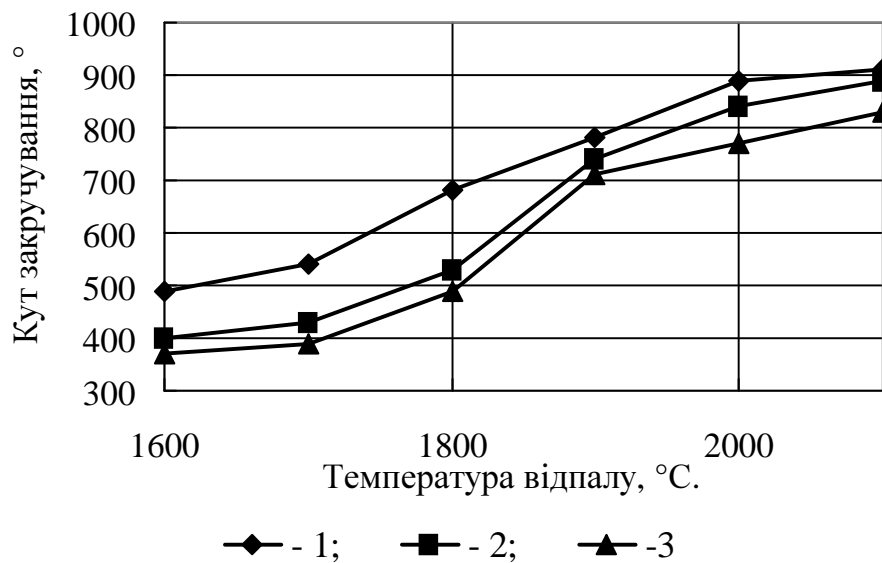
3.2 Вплив розподілу за величиною частинок ThO_2 на структуру і властивості прутків та дроту із сплаву ВР10Т2

З метою дослідження впливу розподілу за величиною частинок ThO_2 три експериментальні партії штабиків сплаву ВР10Т2 виготовлені за зазначеними технологічними варіантами були проковані на прутки діаметром 5,6 мм. Одна частина прутків кожної партії піддавались відпалу при температурах від 1600 до 2100 °С і випробуванню на кручення при температурі 20 і 1100 °С. Друга частина – піддавалась подальшій деформаційній переробці за цеховою технологією.

Результати випробувань прутків на кручення при 20 °С наведено на рисунок 3.6



а



б

1 - введення азотнокислого торію в металевий порошок вольфраму;
 2 - введення азотнокислого торію в частково відновлений ангідрид вольфраму.

3 - введення азотнокислого торію в ангідрид вольфраму;

Рисунок 3.6 – Вплив температури відпалу на пластичність прутків зі сплаву ВР10Т2 при температурі випробування: а – 20 °С; б – 1100 °С

Як видно з рисунку 3.6 а при підвищенні температури відпалу пластичність прутків за всіма варіантами підвищується і досягає максимального значення за 1 варіантом при температурі відпалу 1700 °С, а за варіантами 2 і 3 – при температурі 1800 °С. Причому прутки виготовлені із штабиків третього варіанту мають пластичність дещо нижчу ніж прутки із штабиків першого і другого варіантів. Нижчу температуру досягнення максимального значення

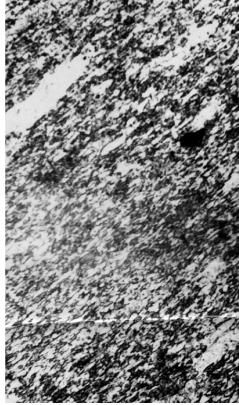
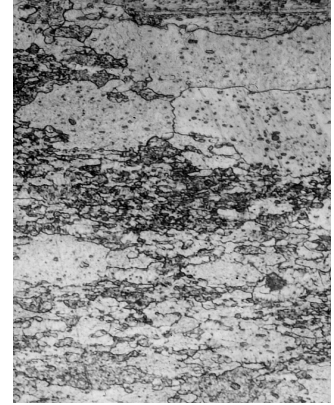
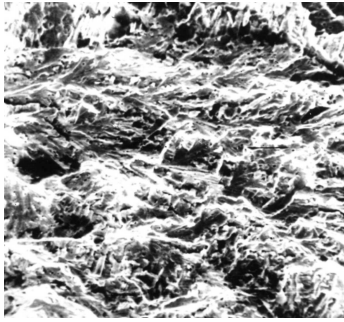
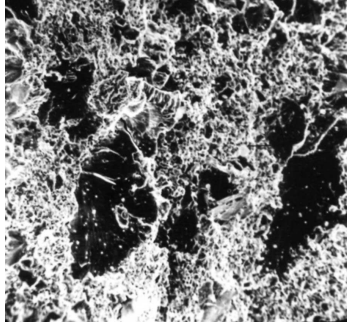
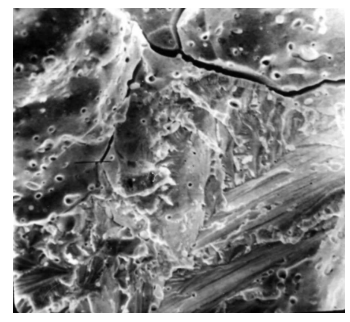
пластичності прутками першого варіанту можна пояснити присутністю в їх структурі основної частки більш крупних частинок. Нижче значення максимальної пластичності прутків третього варіанту, ймовірно, обумовлене наявністю окремих крупних частинок ThO_2 .

Зниження пластичності прутків з подальшим підвищенням температури відпалу, ймовірно, обумовлене початком проходження швидкої рекристалізації (рис. 3.7), про що свідчить з'явлення крупних зерен в мікроструктурі і крупних площин крихкого руйнування на зламах.

При температурі випробувань $1100\text{ }^\circ\text{C}$ спостерігається підвищення пластичності прутків з підвищенням температури відпалу в усіх варіантах.

Оскільки деформування прутків здійснюють при підвищених температурах їх бажано відпалювати при якомога вищій температурі. Але вище температури $1900\text{ }^\circ\text{C}$ суттєво знижується пластичність прутків при температурі випробування $20\text{ }^\circ\text{C}$ і це може призводити до руйнування прутків під час виконання допоміжних технологічних операцій. Причому чим менший поперечний переріз має пруток тим легше він руйнується і відповідно він повинен мати вищу пластичність при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$. У зв'язку з цим температуру відпалу заготовок знижують по мірі зменшення їх поперечного перерізу але звичайно не нижче температури яка забезпечує максимальне значення пластичності при температурі $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Властивості дроту діаметром $0,3\text{ мм}$ отриманих з прутків експериментальних партій сплаву ВР10Т2 наведено в таблиці 3.2.

а, $\times 400 \times 5$ б, $\times 400 \times 5$ в, $\times 400 \times 5$ г, $\times 1500 \times 5$ д, $\times 1500 \times 5$ е, $\times 1500 \times 5$

а, г – відпал 1800 °С; б, д – відпал 1900 °С; в, е – відпал 2100 °С

Рисунок 3.7 – Мікроструктура та поверхня зламів прутків із сплаву
BP10T2

Таблиця 3.2 – Властивості дроту діаметром 0,3 мм експериментальних партій

№ технологічного варіанту	1	2	3
Коефіцієнт розшарування $K_p \pm 1,8$, %	10,2	10,4	19,5
Відносне подовження, $\pm 1,5$, % (випробування при 20 °C)	9,1	8,9	7,6
Температура рекристалізації ± 20 , °C	2000	2050	1950

Як видно з вказаної таблиці коефіцієнт розшарування має приблизно (в межах вірогідного інтервалу) однакові значення у першому і другому варіанті і приблизно в два рази його значення вище для третього варіанту. Більша схильність до розшарування дроту третього варіанту, ймовірно, обумовлена наявністю в його структурі крупних частинок ThO_2 .

Найвища температура рекристалізації дроту характерна для другого варіанту введення азотнокислого торію, який забезпечує відсутність крупних частинок, що можуть прискорювати рекристалізаційні процеси.[18]

Висновки:

Таким чином, перший технологічний варіант дозволяє уникнути утворення великих часток ThO_2 . проте, основна частина частинок ThO_2 в цьому випадку в 2 - 4 рази більше, ніж в третьому варіанті, що природно, знижує високотемпературні властивості. Крім того, перший спосіб в порівнянні з двома іншими вимагає додаткового нагріву металевого порошку в відновлювальній атмосфері для переведення азотнокислого торію в двоокис торію.

Другий варіант дозволяє уникнути утворення великих частинок характерних для третього варіанту і в той же час основна частина частинок зміцнювальної фази, ніж в першому варіанті. При цьому якщо врахувати укрупнення під час зварювання штабиків найдрібніших частинок, що утворюються при використанні третього варіанту, практично до розміру частинок другого варіанту, найпривабливішим для подальшого більш детального дослідження виглядає другий варіант введення азотнокислого торію.

Таким чином, третій варіант введення азотнокислого торію в порівнянні з першим більш простий у виробництві, проте не дозволяє уникнути утворення невеликої кількості відносно великих часток ThO_2 . Перший технологічний варіант вільний від зазначеного недоліку, однак, основна частина частинок ThO_2 в 2 - 4 рази більше, ніж в першому варіанті, що природно, знижує високотемпературні властивості дисперсно-зміцненої композитної дроту. Крім того, перший спосіб вимагає додаткового нагріву металевого порошку в відновлювальній атмосфері для переведення азотнокислого торію в частинки. Другий варіант дозволяє уникнути

утворення великих часток характерних для третього варіанту і в той же час основна частина частинок зміцнюючої фази дисперсні, ніж в першому варіанті, а, з огляду на укрупнення самих дрібних частинок під час зварювання штабиків, що утворюються при третьому варіанті, є сенс детальніше дослідити можливості отримання подібних композитів за другим варіантом введення азотнокислого торію.

В результаті маємо наступну ситуацію:

-найбільш дрібні частинки ThO_2 утворюються при застосуванні третього варіанту, але їх розмір збільшується при зварюванні штабиків і практично досягає величини дисперсних частинок другого варіанту;

-перший і другий технологічні варіанти дозволяють усунути утворення крупних частинок ThO_2 , які присутні в структурі штабиків третього варіанту;

-недоліком першого варіанту є те, що дрібні частинки у 2 – 4 рази крупніші порівняно з дисперсними частинками другого і третього варіантів, що звичайно знижує міцність дисперсно-зміцненого композиту при високих (0,8 – 0,9 Тплав.) температурах, до того ж перший технологічний варіант потребує додаткового нагрівання в атмосфері водню суміші металевого порошку і азотнокислого торію для перетворення останнього в частки ThO_2 .

Таким чином для подальших досліджень самим привабливим є другий технологічний варіант.

4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РИНКУ ВОЛЬФРАМУ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

4.1 Тенденції розвитку ринку вольфраму та його сплавів.

Перспектива світового ринку вольфраму почала бурхливе відновлення з 2009 року, що обумовлено первісним зростанням в азіатській області, а потім економічним відновленням в Європі та Північній Америці. Незважаючи на деякий ріст в Європі та США в останні роки, Китай продовжує домінувати на ринку вольфраму, як найбільший виробник і як споживач вольфрамових матеріалів. У 2013 році на частку Китаю припало 81% повного первинного пропозиції, хоча частка Китаю в глобальному виробництві, ймовірно, зменшиться до 2018 року, так як нові вольфрамові проекти в Австралії, Європі та Азії почнуть виробництво.

Але проблема в тім, що зростання споживання вольфраму було нерациональним в останні роки, що обумовлювалося доступністю запасів, поповненням та ліквідацією запасів, цін та економічної невизначеністю. Вольфрам переважно використовується у виробництві цементуємих карбідів, що історично показує кореляцію із ВВП, а світовий економічний ріст стимулював зростання у важкій промисловості, незважаючи на зниження споживання вуглецю в інших областях кінцевого використання.

До 2018 року більш стабільний ріст поставок і підвищення виробництва цементовного карбіда, підкріпленого економічним ростом, продовжують визначати ситуацію на ринку металу.

Попит на вольфрамові ниті продовжує зменшуватися.

Світовий попит на вольфрам різ в середньому на 2,7% в рік з 2008 року, однак, за оцінками Roskill, зростання сповільниться до 2,6% в рік у середньостроковому періоді до 2018 року, так як його пряме використання в освітленні зменшується.

Приблизно 12% вольфраму від загального обсягу попиту в 2013 році було використано в освітленні. Однак, за прогнозами, застосування металу в цій області скоротиться приблизно на 5% у рік до 2018 року на тлі різкого падіння попиту, викликаного заміною ламп накаливання на люмінесцентних та світлодіодних лампочках як у промислових, так і в побутових приладах. Однак позитивним фактором при цьому є те, що ці нові освітлювальні прилади вимагають великих об'ємів тугоплавких сплавів у воді безпосередньо у виробництві, підвищуючи тим самим попит на метал у секторі сплавів.

Витрата вольфраму в інших електронних та електричних системах, у тому числі електричних контактах, електронних електромережах і провідних проводах, за прогнозами, буде зростати на 5,4% у рік до 2018 року, більш ніж два рази перевищує загальну тенденцію. Супротив вольфраму зносу та корозії, а також його здатність утримувати електричні дуги роблять його придатним для використання в контактах і регуляторах напруги. Попит з боку цих додатків, однак, незначний по обсягу, тобто до 2018 року частка даного сектора в попит складе всього 2%.

Твердосплавна продукція в Китаї продовжить стимулювати зростання попиту.

Зростання автомобільного виробництва, особливо в Північній Америці, Китаї та Європі, в додаток до збільшення споживання у гірничорудній промисловості та зносостійких додатках, за прогнозами, приведе до підвищення

попиту на продукцію з цементовного карбіда на 3,6% до року до 2018 року і збільшення долі це сектора в загальному попиті на вольфрам до приблизно 63%.

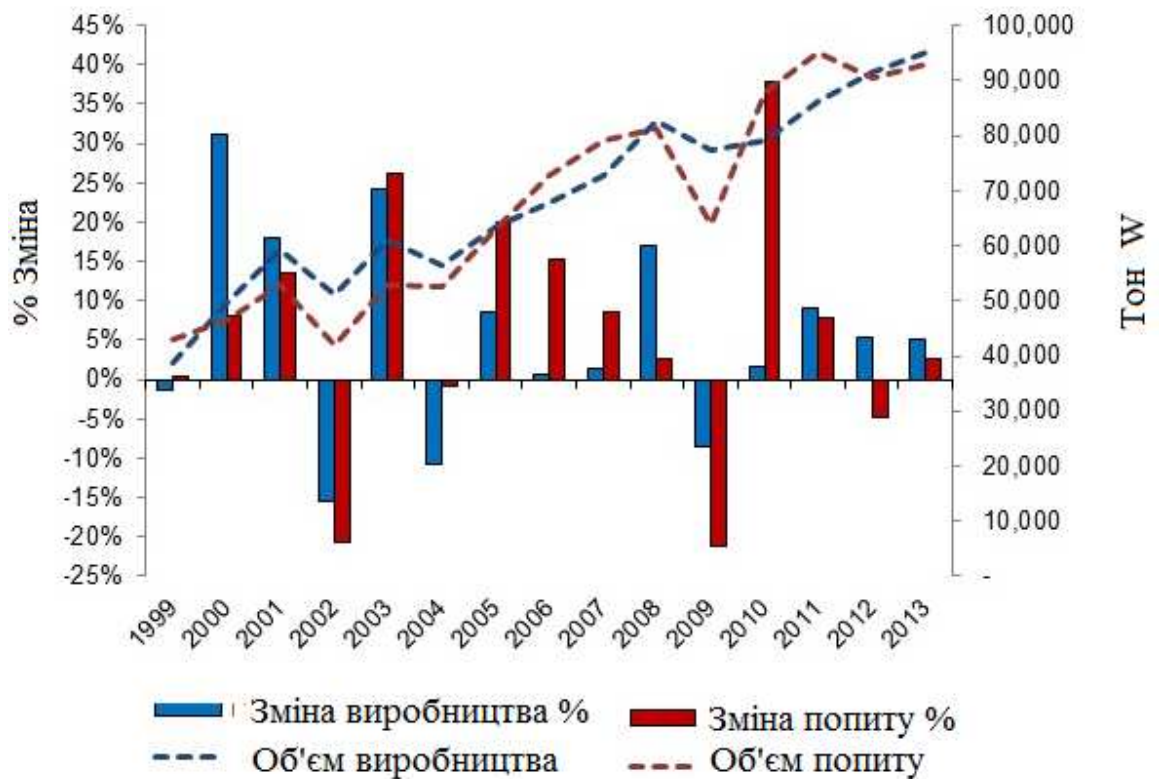


Рисунок 4.1.1 Пропозиція і попит на світовому ринку вольфраму

З наведеного вище графіку можна зробити висновок що, зростання попиту на вольфрам буде визначатися азіатським ринком, особливо китайським, на частку якого припало 48% споживання в 2013 році. Китай, за прогнозами, в подальшому збільшить свою частку в світовому попиті на вольфрам до 52% до 2018 року, обігнавши як європейський, так і північноамериканський зростання попиту.[11]

Ціни на вольфрам продовжують відчувати тиск від перенасичення ринку.

Після піку в 2011 році і піку знову в 2013 році, ціни на вольфрам, як прогнозується, будуть падати протягом 2014 року і в на початку 2015 року. Підвищення доступності сировини від нових проектів зростає. Надлишок тисне на ринок. У міру збільшення попиту на вольфрам в наступні роки при невеликій кількості нововведених потужностей, очікується, що баланс ринку буде прагнути до рівноваги до 2018 року, що потенційно може викликати зростання цін на метал. У той же час, фокус може зміститися до витрат і життєздатності конкретних операцій з видобутку, в тому числі в Китаї, де низькі ціни перш ізолювали деяких постачальників з високою собівартістю виробництва.[12]

Проблему ринку вольфраму може змінити збільшення використання вольфрамових сплавів в порошковій металургії для виготовлення більш міцних і тугоплавких матеріалів. Твердосплавна продукція в Китаї буде продовжувати стимулювати зростання попиту.

Зростання автомобільного виробництва, особливо в Північній Америці, Китаї та Європі, на додаток до збільшення споживання в гірничодобувній промисловості і зносостійких додатках, згідно з прогнозами, призведе до підвищення попиту на продукцію з цементованого карбїду на 3,6% в рік до 2018 року і збільшення частки цього сектора в загальному попиті на вольфрам до приблизно 63%.

В цьому контексті сплави вольфраму з торієм виглядають більш привабливо по відношенню сплавів вольфраму з ренієм або молібденом. Це обумовлено тим, що вольфрамоторієві сплави дають більш високі механічні властивості, це показано на рисунку 4.1.2.

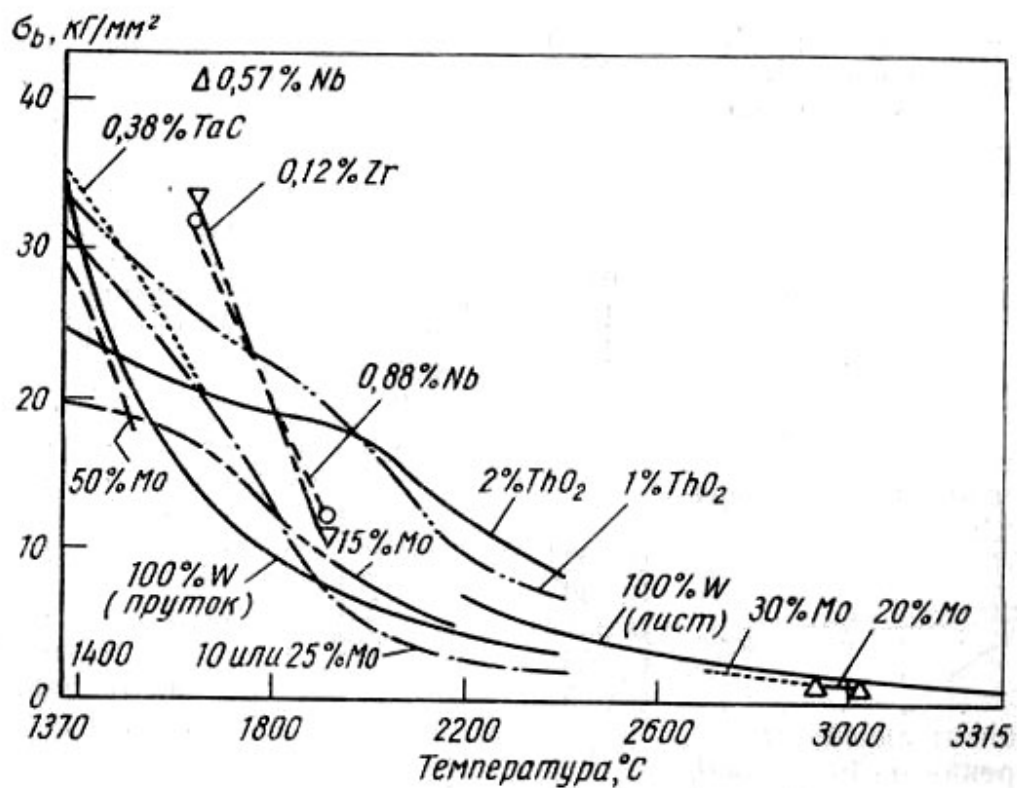


Рисунок 4.1.2 Міцність вольфрамових сплавів при високій температурі

Як видно з наведених даних, найбільш високу міцність при температурі вище 1900 ° С мають сплави вольфраму з окисом торію. Тому з точки зору використання сплавів вольфраму з оксидом торію при високих температурах протягом довготривалої експлуатації без втрат міцносних характеристик безперечно доцільніша ніж сплави з іншими легуючими елементами наприклад реній чи молібден.

4.2 ПЛАНУВАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОБІТ

4.2.1 Визначення трудомісткості та тривалості НДР

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

$$T_{ц} = \frac{Q}{R \cdot K_{в.н.}},$$

(1.1)

де $T_{ц}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість робіт, людина-годин;

R – кількість виконавців, людей;

$K_{в.н.}$ - плановий коефіцієнт виконання норм на відрядних роботах;

$K_{в.н.} = 1,05 \dots 1,1$.

$T_{ц} = 84$ днів;

$R = 3$ людини;

$K_{в.н.} = 1,075$.

Визначаємо трудомісткість робіт, люд.-годин - Q :

$$Q = T_{ц} \cdot R \cdot K_{в.н.}$$

Результати розрахунків зводять у таблиці 4.2.1

Таблиця 4.2.1 – Тривалість етапів НДР

Етап НДР	Трудомісткість		Виконавці		Тривалість, днів
	Людино- днів	% до підсумку	Спеціальність	Кількість людей	
1	2	3	4	5	6
1.Пошук літератури	12,9	6,94	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник	2	6
2.Підготовка матеріалів	3,22	2,03	Лаборант	1	4
3.Розробка методик	21,5	12,07	Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник.	2	10

Продовження таблиці 4.2.1

4.Виготовлення зразків	32,25	17,6	Лаборант, Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник.	3	10
5.Аналіз мікроструктури	19,35	10,96	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник, Лаборант	3	6
6.Визначення впливу торія на вольфрамові сплави	16,12	8,81	Лаборант, Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	3	7

Продовження таблиці 4.2.1

7.Механічні випробування	17,13	7,11	Лаборант, Молодший науковий співробітник.	2	7
8.Обробка результатів	10,75	5,5	Молодший науковий співробітник,	1	10
9.Складання звіту	16,12	8,81	Молодший науковий співробітник,	1	14
10.Оформлення графічних матеріалів	32,25	17,6	Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник,	2	13

Продовження таблиці 4.2.1

11.Нормоконтроль	2,15	1,5	Головний науковий Співробітник	1	2
12.Рецензія	2,15	1,5	Головний науковий Співробітник	1	2
Разом	-	-	-	-	84

Розрахунок очікуваного часу виконання етапу робіт із формули:

$$t_{\text{оч}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}, \quad (1.2)$$

де $t_{\text{оч}}$ - очікувана оптимальна оцінка часу виконання етапу НДР, днів

t_{min} – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} – максимальні витрати часу на виконання роботи з даного етапу при несприятливих умовах, днів.

Розрахунок дисперсії σ^2 являє собою значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається по формулі:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{5} \right)^2, \quad (1.3)$$

Результати розрахунків зводяться в таблиці 4.2.2

Таблиця 4.2.2 – Тривалість НДР

Етап НДР	Тимчасові оцінки, днів			Дисперсія	Виконавці	
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{оч}}$		Спеціальність	Кількість, людей
1	2	3	4	5	6	7
1.Пошук літератури	4	6	4,8	0,16	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	2
2.Підготовка матеріалів	2	4	3,2	0,16	Лаборант	1

Продовження таблиці 4.2.2

3.Розробка методик	7	10	8,2	0,36	Головний науковий Співробітник, Молодший науковий співробітник,	2
4.Виготовлення зразків	5	10	7	1	Лаборант	1
5.Аналіз мікроструктури	4	6	4,8	0,16	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник, Лаборант	3
6. Визначення впливу торія на вольфраміві сплави	3	5	3,8	0,16	Лаборант, Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	3

Продовження таблиці 4.2.2

7.Механічні випробування	5	7	5,8	0,16	Лаборант, Молодший науковий співробітник	2
8. Обробка результатів	8	10	8,8	0,16	Молодший науковий співробітник.	1
9. Складання звіту	10	14	11,6	0,64	Молодший науковий співробітник.	1
10.Оформлення графічних матеріалів	9	13	10,6	0,64	Молодший науковий співробітник, Головний науковий Співробітник.	2
11.Нормоконтроль	1	2	2,6	0,04	Головний науковий Співробітник	1
12.Рецензія	1	2	2,6	0,04	Головний науковий Співробітник	1
Разом	59	85	69,4	17,2	-	-

4.2.2 Складання календарного графіка

Використовуючи дані таблиці 4.2.1 і 4.2.2, побудуємо календарний графік виконання НДР.

При побудові сіткового графіка необхідно скласти перелік робіт і подій за таблицею 4.2.3.

Таблиця 4.2.3 – Перелік робіт і подій для сіткового графіка

Номер події	Події	Код роботи	Зміст роботи	Тривалість роботи
1	2	3	4	5
1	Пошук літератури	0-1	Уточнення проектного завдання. Підбор і аналіз літератури й аналогів. Уточнення змісту теми і питань, зв'язаних з її виконанням.	5
2	Підготовка матеріалів	1-2	Закупівля дослідницьких зразків	4
3	Розробка методик	1-3	Складання методики та плану дослідження	8

Продовження таблиці 4.2.3

4	Виготовлення зразків	2-4	Виготовлення зразків для випробувань на механічні властивості	7
5	Аналіз мікроструктури	3-5	Аналіз щільності мікроструктури	3
6	Визначення впливу торія на вольфрамкові сплави	5-6	Аналіз і встановлення параметрів зміцнювальних фаз	6
7	Механічні властивості	4-7	Визначення межі міцності	7
8	Обробка результатів	6-8 7-8	Узагальнення отриманих результатів досліджень, визначення шляхів подальшого їхнього використання отриманих результатів.	10

Продовження таблиці 4.2.3

9	Складання звіту	8-9	Складання звіту, обговорення його і затвердження, оформлення графічного матеріалу. Аналіз економічної ефективності.	15
10	Оформлення графічних матеріалів	8-10	Виготовлення необхідної графічної частини для наочної оцінки результатів.	12
11	Нормоконтроль	10-11 9-11	Перевірка роботи згідно з ГОСТом	2
12	Рецензія	11-12	Відгук про дослідницьку роботу	2

Сітковий графік являє собою інформаційно-динамічну модель, в якій зображуються взаємозв'язку і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети проектування. При побудові мережевого графіка використовуються два графічних елемента: роботи і події.

Робота - це процес, що вимагає витрат часу, наявності виконавців і матеріальних ресурсів. Подіями називаються результати проведених робіт, на графіку події показуються кружками з номером. Сітковий графік будується за даними таблиці 4.3.2 і представлений на рисунку 4.2.1

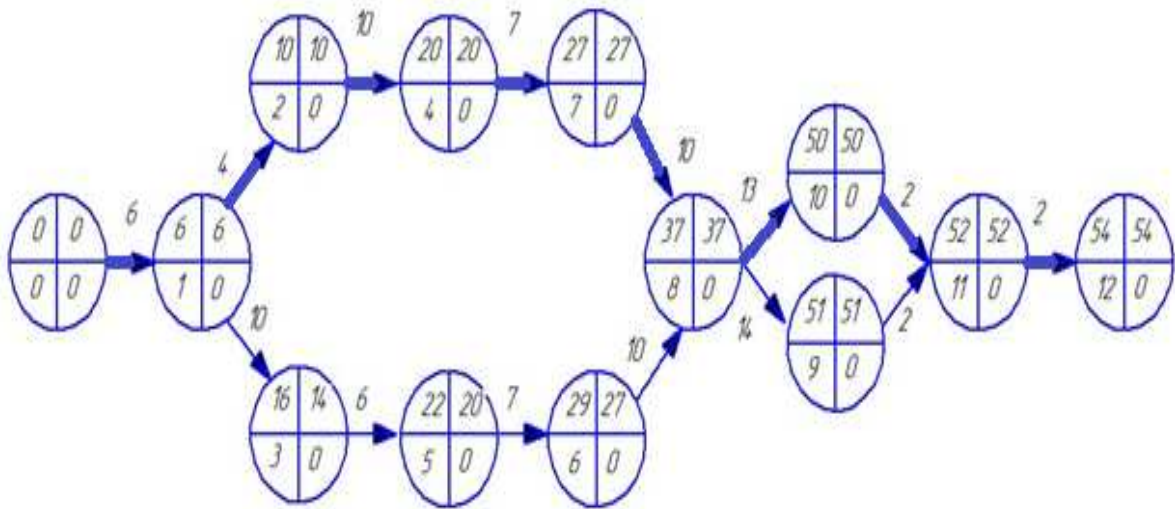


Рисунок 4.2.1 – Сітковий графік подій

Після складання сіткового графіка визначаємо його параметри:

t – тривалість шляхів;

t_{Lkp} – тривалість критичного шляху;

R_{Lp} – резерв часу шляхів;

t_i^p – ранній термін здійснення події;

t_i^n – пізній термін здійснення події;

R_i – резерв часу здійснення події;

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

t_{ij}^{ps} – ранній термін закінчення роботи;

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

t_{ij}^{n3} – пізній термін закінчення роботи;

R_{ij}^n – повний резерв часу роботи;

R_{ij}^B – вільний резерв часу роботи;

K_{HL} – коефіцієнт напруженості шляху.

Таким чином, побудований графік подій, мережевий графік, таблиця списку робіт, знайдений критичний шлях. Таким є шлях 0-1-2-4-7-8-10-11-12, що має довжину 54 днів. Роботи виконувалися паралельно.

Результати розрахунків звести в таблицях 4.2.4 – 4.2.6

Таблиці 4.2.4 – Параметри шляхів

Номер шляху	Номера подій, через які проходить шлях	Тривалість робіт, через які проходить шлях	Довжина шляху	Резерв шляху
1	0-1	0-6	54	0
	1-2	6-10	54	0
	2-4	10-20	54	0
	4-7	20-27	54	0
	7-8	27-37	54	0
	8-10	37-50	54	0
	10-11	50-52	54	0
	11-12	52-54	54	0
2	0-1	0-6	54	0
	1-3	6-16	54	0
	3-5	16-22	54	0
	5-6	22-29	54	0
	6-8	29-37	54	0
	8-9	37-51	54	0
	9-11	51-52	54	0
	11-12	52-54	54	0

Таблиця 4.2.5 – Параметри подій

Кількість робіт, що передують події	Номер події	t_i^p	t_i^n	R_i
1	0-1	6	6	0
	1-2	4	4	0
	2-4	10	10	0
	4-7	7	7	0
	7-8	10	10	0
	8-10	13	13	0
	10-11	2	2	0
	11-12	2	2	0
2	0-1	6	6	0
	1-3	10	10	0
	3-5	6	6	0
	5-6	7	7	0
	6-8	10	10	0
	8-9	14	14	0
	9-11	2	2	0
	11-12	2	2	0

Таблиця 4.2.6 – Параметри робіт

Код роботи	t_{ij}	t_{ij}^{pn}	t_{ij}^{p3}	t_{ij}^{nn}	t_{ij}^{n3}	R_{ij}^n	R_{ij}^B
0-1	6	6	6	6	6	0	0
1-2	4	10	10	10	10	0	0
2-4	10	20	20	20	20	0	0
4-7	7	27	27	27	27	0	0
7-8	10	37	37	37	37	0	0
8-10	13	50	50	50	50	0	0
10-11	2	52	52	52	52	0	0
11-12	2	54	54	54	54	0	0

Коефіцієнт напруженості K_{HL} визначаємо за формулою:

$$K_{HL} = t_{ij}^{nn} / (t_{ij}^{pn} + R_{ij}^B), \quad (1.4)$$

$$K_{HL} = 1$$

Визначення витрат на проведення НДР

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

З метою визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи слід скласти кошторис витрат в (Таблиця 4.2.7).

Таблиця 4.2.7 – Кошторис витрат на виконання НДР

Стаття витрат	Сума, грн.
Матеріали	238980
Витрати на спеціальне устаткування	761000
Основна заробітна плата	30 610
Додаткова заробітна плата	2754,9
Єдиний соціальний внесок	7340,2
Накладні витрати	27549
Інші витрати	697,8
Витрати на енергоресурси	484,48
Разом	1069416,38

Розрахунок вартості матеріалів.

До цієї статті відносять витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження в (Таблиця 4.2.8).

Ціни на матеріальні ресурси визначають за відповідними прайс-листами.

Транспортно-заготівельні витрати: 3-5% від вартості матеріалів.

Таблиця 4.2.8 - Розрахунок вартості матеріалів

Матеріал	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, грн/кг	Сума витрат, грн.
Вольфрамовий порошок	10	15000	150000
Торійовий порошок	3	25200	75600
Реактиви	-	-	2000
Усього			227600
Транспортні та заготівельні витрати (5%)			11380
Усього			238980

Спеціальне устаткування для науково-експериментальних робіт.

В цій статті враховуються витрати на закупівлю, доставку і монтаж лабораторних установок, вимірювальних і регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури і тому подібне (Таблиця 4.2.9)

Таблиця 4.2.9 - Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Собівартість експлуатації, год.
Вакумна піч	PVA TePla	1	700 000	173000
Маятниковий копер	КМ-30	1	15 000	830
Дефектоскоп	ВД-20П	1	36 000	720
Оптичний мікроскоп	МИМ - 8	1	10 000	400
Разом			2761000	174950

Розрахунок заробітної плати.

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

Розрахунок заробітної плати робиться на підставі даних про трудомісткість (Таблиця 4.2.10).

Кількість місяців роботи науково-дослідної групи задається на підставі терміну виконання дипломної роботи. В даному випадку 84 днів. Місячні посадові оклади і годинні тарифні ставки приведені в додатку.

Таблиця 4.2.10 - Розрахунок основної заробітної плати

№	Посада виконавця	Кількість, Людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума, грн
1	Головний науковий співробітник	1	5400	270	52	14040
2	Молодший науковий співробітник	1	3200	160	77	12 320
3	Лаборант	1	2500	125	34	4250
Разом						30 610

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

$$ЗП_{дон} = ЗП_{осн} \cdot 0,09 = 30610 \cdot 0,09 = 2754,9 \text{ грн.} \quad (4.5)$$

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

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

$$C_{соц.стр.} = (ЗП_{осн} + ЗП_{дон}) \cdot 0,22 = (30610 + 2754,9) \cdot 0,22 = 7340,2 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

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

$$C_n = ЗП_{осн} \cdot 0,9 = 30610 \cdot 0,9 = 27549 \text{ грн} \quad (4.7)$$

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

$$C_i = (C_{соц.стр.} + C_n) \cdot 0,02 = (7340,2 + 27549) \cdot 0,02 = 697,8 \text{ грн} \quad (4.8)$$

Розрахунок витрат на енергоспоживання

Витрати на силову енергію визначають по формулі:

$$E_c = \frac{P_y \cdot \Phi_{эф} \cdot K_b \cdot Ц_e}{ККД}, \quad (4.9)$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування кВт;

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

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

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

$ККД = 0,8 \dots 0,9$.

Виконанні розрахунки занесено в таблицю 4.2.11

Таблиця 4.2.11 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Марка	Потужність, кВт	$\Phi_{\text{еф}}$, год.	Ціна, грн./кВт година	Вартість енергоресурсів грн/год.
Маятниковий копер	КМ-30	0,7	2	1,6	2,24
Вакумна піч	PVA TePla	300			480
Дефектоскоп	ВД- 20П	0,3	2		0,96
Оптичний мікроскоп	МИМ - 8	0,2	4		1,28
Разом					484,48

Розрахунок економічної ефективності.

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

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

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

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{V_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (4.10)$$

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

де J^n – важливість роботи;

де R – результативність роботи;

де T – технічна складність виконання НДР;

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

де n – показник використання результатів НДР;

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

$$K_{\text{НДР}} = \frac{4^2 \cdot 4 \cdot 2}{1069,4 \cdot 0,25} = 1,91$$

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

K_1 – коефіцієнт, що характеризує досягнутий ефект;

K_2 – коефіцієнт обсягу використання результатів НДР;

K_3 – коефіцієнт складності вирішення задачі;

K_4 – коефіцієнт істотних відмінностей;

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

$$K = 4 \cdot 5 \cdot 4,5 \cdot 1,5 = 135$$

Галузевий коефіцієнт економічної ефективності $K_{\text{НДР}} = 1,5$, виходячи з проведених розрахунків ми отримали $K_{\text{НДР}} = 1,91$, тому можна зробити висновок, що дані дослідження є економічно доцільними та ефективними.

Висновки:

1. Світовий ринок вольфраму і його сплавів буде й надалі розвиватись за рахунок розвитку в Китаї промисловості.
2. Вольфрамоторієвий сплав поки єдиний забезпечує міцності та високотемпературні властивості при 2000 °C та вище. Тому актуальність цього сплаву буде зростати по мірі зростання вимог до характеристик техніки.
3. Виходячи з розрахунку НДР ступінь ефективності 135, що підтверджує доцільність використання торійованого вольфраму.
4. Галузевий коефіцієнт економічної ефективності 1,91 , це доводить, що дослідження є економічно доцільними та ефективними.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи із охорони праці при: розробці технології виготовлення виробів з порошкових матеріалів .

5.1 Аналіз потенційних небезпек :

а) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушення правил з електричної безпеки, що може привести до електричних травм, або летального наслідку;

б) небезпеки які пов'язані із проведенням випробувань механічних властивостей дослідницьких зразків, зокрема можливості отримання механічних травм;

в) небезпеки які пов'язані з розробкою вихідних засад для проведення дослідницьких робіт по отриманню пресованих штабиків, зокрема: небезпеки з використанням персональних комп'ютерів.

г) небезпеки які пов'язані із дослідженням структури на дефектоскопі ВД-20П, зокрема пошкодження органів зору внаслідок хибного вибору світлофільтрів;

д) небезпеки які пов'язані з проведенням дослідницьких робіт по виготовленню штабиків , зокрема: можливість отримання механічних травм при механічному подрібнюванні шихти, пресуванню, протягуванні та термічні опіки при спіканні штабиків;

е) незадовільні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітря обміну;

ж) незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

з) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

к) Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки :

а) З метою забезпечення електробезпеки, є - виконання організаційних заходів, для попередження уражень електричним струмом.

До виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання, та перевірку знань з електробезпеки. Основним нормативним актом є ПУЄ 2013.

- ремонт обладнання повинен здійснювати тільки спеціальний підготовлений персонал.

- для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

- технічні заходи – розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В), не менше 3,5 м (більше 1000 В – 6 м).

- всі не ізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огороженні суцільними огорожами.

- відкриття яких можливі тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

- опір ізоляції електричних дротів повинен бути не менше 0,5 Ом.

- обов'язковим є захисне заземлення або занурення.

- обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту, зокрема гумовий діелектричний килимок, опір якого слід періодично перевіряти.

- обов'язковим є встановлення автоматичних блокуючих пристроїв, які запобігають небезпечним діям людини, зокрема кільцеві вимикачі.
- блокуючі пристрої розподіляють на механічні, електричні, та електромеханічні.

Електробезпека обслуговуючого персоналу залежить від розташування органів управління відносно електричних ланцюгів. Зокрема кабіна ПТМ розташовується з протилежної сторони відносно тролей.

б) При випробуванні на механічні властивості дослідницьких зразків необхідно притримуватись основних запобіжних заходів.

Випробування матеріалів пов'язаних з внутрішньою загрозою із-за високих потужностей, швидких рухів. Робітник повинен уважно вивчити всі відповідні інструкції користувача та попередження, завжди пам'ятати про всі рухомі та працюючі компоненти машин, які є потенційно небезпечними, зокрема про силові приводи і рухомі головки.

Основні загрози при роботі з випробувальним обладнанням:

- загроза вильоту осколків – неправильне закріплення зразків створює тиск на елементи кріплення або захвати, що може призвести до їх поломки. Випробування проводяться на високих швидкостях, і існує можливість посиленого викиду зламаної частини за межі робочої зони. Щоб уникнути вильоту осколків, зразок слід встановити в центрі губок захвату і вирівняти його по напрямку навантаження. Використовуючи всі прикладені центруючі і вирівнюючі пристосування.

- загроза деталей що обертаються – якщо обладнання необхідно включити для обслуговування зі знятими захисними панелями, переконайтеся, що всячий одяг, довге волосся і т. д. надійно зібрані.

- неправильне налаштування обмежувача – правильне налаштування робочих обмежувачів, проведена до початку випробування, зменшить ризик пошкодження зразка, системи або загрози для оператора.

- пошкодження електричних кабелів – втрата сигналів управління і зворотного зв'язку, викликана розмиканням мережі або пошкодженням кабелю, може змусити компоненти системи рухатися на максимумі. Ніколи не розташовуйте кабелі на підлозі без відповідного захисту, не піддавайте їх перегріву під надмірним навантаженням. Використовуйте прокладки для зменшення тертя в місцях, де дроти проходять по кутах або через отвори.

в) Загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на комп'ютері

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги для відео дисплейних терміналах, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї парці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є :

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність потужних іонізуючих випромінювань;
- загальна втома;

- стомлюваність очей;
- небезпека ураженням електричним струмом;
- пожежонебезпека;

На робочому місці повинен бути оформлений так званий куточок безпеки, де повинна міститися вся необхідна інформація, в тому числі і відомості про правильну роботу з комп'ютерною технікою. Кожен працівник повинен пройти спеціальний інструктаж для усунення можливих небезпечних ситуацій.

Перше, на що варто звернути увагу – це стан проводів. Щоб уникнути коротких замикань і пошкодження ізоляції заборонено закладати шнури за водопровідні та газові труби, вішати на них що-небудь, зафарбовувати фарбою і т.д.

- Ні в якому разі не можна працювати за комп'ютером з мокрими руками. < / li>
- Не можна класти на будь-яку частину комп'ютера якісь сторонні предмети.
- Не варто торкатися до комп'ютерного екрану.
- Також заборонено працювати за електронною технікою з якими пошкодженнями , включаючи порушення цілісності, пошкодження ізоляційної системи.

Техніка безпеки при роботі з комп'ютером: вимоги до оформлення приміщення і організації праці

Для початку варто відзначити, що величезне значення має правильне, природне освітлення приміщення під час роботи з технікою, адже недостатня кількість світла може бути чревате проблемами із зором. Крім того, забороняється розміщувати комп'ютери близько один до одного (відстань має

становити не менше двох метрів), отже, і приміщення для навчання повинні бути досить просторими.

Екран повинен бути розміщений на відстані не менше 50 см від очей дитини, причому він повинен бути або на рівні очей, або на 15 – 20 сантиметрів нижче, але ні в якому разі не вище.

Працівник під час праці повинен дотримувати правильну позу. Крім того, всі працівники повинні бути забезпечені не тільки безпечною технікою, але також зручними столами та стільцями.

Техніка безпеки при роботі з комп'ютером: правила поведінки в аварійній ситуації

Природно, на робочому місці заборонено запалювати вогонь, палити і включати прилади, якщо в приміщенні відчувається запах газу. Тим не менш, не лише відкрите полум'я може стати джерелом аварійної ситуації. У деяких випадках займання може бути викликане іскрами, витікаючими з електрообладнання або виникають при розряді статичної електрики.

У разі пожежі необхідно провести евакуацію працівників. Якщо під час праці була помічена якась несправність у роботі техніки або оголений провід, роботу варто припинити і на час знеструмити кабінет – включити обладнання можна тільки після перевірки.

У тому випадку, якщо когось з знаходяться в приміщенні сильно вдарило струмом, необхідно викликати лікаря і надати потерпілому першу допомогу.

г) Загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на дефектоскопі ВД-20П.

До роботи на дефектоскопі допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли під час вступу на роботу обов'язковий попередній медичний огляд, вступний і первинний інструктаж на робочому місці, початкову підготовку або підвищення кваліфікації (практичне навчання), стажування і перевірку знань, а також мають другу групу з електробезпеки.

Під час роботи на дефектоскопіста можуть впливати наступні основні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- електромагнітні випромінювання;
- підвищений рівень ультразвуку;
- підвищений рівень шуму;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- фізичні перевантаження.

Передбачено використовувати засобами індивідуального захисту (ЗІЗ):

- костюмом бавовняним;
- черевиками юхтові;
- фартухом прогумованим;
- рукавицями комбінованими;
- рукавичками бавовняними в комплекті з рукавичками гумовими;

д) При проведенні дослідницьких робіт по виготовленню пресованих штабиків з порошкових матеріалів слід дотримуватись таких правил безпеки, а саме:

Приготування шихти;

- проводить зважування порошків в витяжній шафі.
- завантаження і вивантаження шихти і, порошків проводити при вимкненому обладнанні і, зафіксованої рукоятці знімання муфти барабанів-змішувачів.
- перед пуском все обладнання для змішування і розмолу шихти повинно бути щільно закрито кришкою. Розсипання порошків не допускається. Розсипаний порошок видаляється вологим прибиранням.
- під час роботи устаткування не допускається прибирати з-під нього розсипану шихту або сторонні предмети.
- чистити сітки на вібросито дозволяється тільки після повної зупинки обладнання.

Пресування;

- забороняється працювати на пресах в рукавицях, рукавичках або з пов'язками на пальцях.
- заміряти деталь або перевіряти наявність пор і тріщин тільки після повної зупинки преса.
- чи не класти деталі, інструмент та інші предмети на станину.
- не допускається працювати без прозорого щита з міцної пластмаси оргскла.
- забороняється спиратися на прес під час його роботи і робити це іншим.

- стежити за рівнем масла в гідросистемі.
- обов'язково зупинити штамп і вимкнути електроживлення при:
 - а) відхід від преса, навіть на короткий час;
 - б) тимчасове припинення робіт;
 - в) прибирання, мастилі, чищення преса;
 - г) виявлення несправності в обладнанні;
 - д) підтягування болтів, гайок та інших з'єднань деталей преса;
- Спікання деталей;
- Завантажувати деталі в піч за допомогою пристосування.
- При завантаженні і вивантаженні деталей надягати захисну спец. одяг і взуття.
- Одяг повинен мати теплоізоляційні властивості.
- Взуття з закритою ступнею з товстої шкіри просоченої рідиною яка перешкоджає швидкому займанню взуття при потрапляння на неї гарячих деталей або пристосувань.

5.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці :

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

калорифер. В адміністративних приміщеннях використовуються кондиціонери.

Ефективним засобом нормалізації стану повітряного середовища у виробничих приміщеннях є вентиляція, що представляє собою комплекс пристроїв, що забезпечують повітрообмін, тобто видалення забрудненого (запиленого) нагрітого вологого повітря і подачу свіжого, чистого повітря, що відповідає нормативним вимогам.

За зоні дії вентиляція може бути загальнообмінної (що охоплює всі приміщення) та місцевої (в його обмеженої частини), а в залежності від способу переміщення повітря - природною і механічною.

Аерація - це природна вентиляція, при якій повітря надходить і видаляється через регульовані отвори в стінах, перекриттях, ліхтарях будівель.

При природній вентиляції повітрообмін відбувається внаслідок різної щільності неоднаково нагрітого повітря зовні і всередині приміщення і завдяки тиску вітру.

Стулки вікон постачають пристроями, що дозволяють відкривати, встановлювати в необхідному положенні і закривати їх з поверхні підлоги або робочих площадок приміщення. При використанні тиску вітру ефективність аерації зростає. Для цього споруджений будинок відповідним чином орієнтують щодо переважного напрямку вітру в даній місцевості.

При механічній вентиляції повітрообмін здійснюється за допомогою вентиляторів. У напрямку дії механічна вентиляція може бути припливною (повітря нагнітається в приміщення), витяжний (повітря видаляється з нього) і

припливно-витяжної, що забезпечує одночасно подачу повітря в приміщення і його видалення.

Забір зовнішнього повітря приточними системами вентиляції проводиться на висоті не менше 2 м від землі в місцях, не забруднених шкідливими речовинами. Вентиляція застосовується в поєднанні з технологічними заходами щодо зниження забруднення повітря. Джерела пилоутворення герметизують і підключають до системи витяжної вентиляції. Для попередження проникнення холодного повітря, в приміщення відкриваються ворота, двері або технологічні отвори обладнують повітряними або повітряно-тепловими завісами.

ж) Незадовільне освітлення робочих зон, дослідницької лабораторії;

Більшість людей проводять на робочому місці більшу частину свого часу. При цьому основна частина роботи пов'язана з напруженою зоровою роботою. Тому дуже важливо забезпечити співробітникам комфортні для роботи умови, серед яких якісне освітлення є обов'язковим. Саме від нього залежить ефективність роботи співробітників, їх настроїв і безпеку.

Основне призначення освітлення в робочій зоні:

- забезпечити оптимальні умови роботи відповідно до норм і вимог;
- знизити стомлюваність органів зору;
- забезпечити безпеку співробітників;
- запобігання професійних захворювань;
- підвищення ефективності праці та якості роботи.

Для реалізації перерахованих вище умов, система освітлення на підприємстві повинна відповідати наступним вимогам:

Якісне та рівномірне освітлення робочої зони, яке відповідає діючим санітарним нормам санітарним нормам в Україні СНиП та новому стандарту освітлення - ISO 8995. Нерівномірне освітлення змушує органи зору адаптуватися до різної яскравості навколишніх предметів, що призводять до швидкого стомлення очей.

Оптимальна яскравість. Для зору людини однаково шкідливий як тьмяне світло, так і занадто яскравий. Це проявляється в різі в очах, частих головних болях, розладі зору. Тому необхідно правильно провести розрахунок і проектування освітлення, щоб отримати комфортну яскравість в приміщенні.

- освітленість на робочому місці повинна відповідати гігієнічним нормам. Збільшення освітленості робочої поверхні до певної межі поліпшує видимість об'єкту, збільшує швидкість розрізнення предметів і підвищує продуктивність праці;

- яскравість на робочій поверхні і в межах оточуючого простору повинна розподілятися по можливості рівномірно, оскільки перехід погляду з яскраво освітленої на слабо освітлену поверхню і навпаки викликає стомлення очей; Рівномірному розподілу яскравості сприяє світле забарвлення стелі, стін, устаткування.

- на робочій поверхні не повинно бути різких тіней, оскільки вони створюють нерівномірний розподіл яскравості, спотворюють форму і розміри об'єктів і викликають стомлення зору, а наявність жвавих тіней, крім того, сприяє виникненню травм;

- освітлення повинне забезпечувати необхідний спектральний склад світла для правильної передачі кольорів. Правильну передачу кольорів створює

природне освітлення і штучні джерела світла із спектральною характеристикою, близькою до природного освітлення.

Природне освітлення — освітлення приміщень світлом неба (прямим або відображеним), проникаючим через світлові отвори в зовнішніх захищаючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найсприятливішим.

Природне освітлення може бути:

- бічним — через світлові отвори в зовнішніх стінах (вікна);
- верхнім — через світлові отвори в покритті і ліхтарі, а також через світлові отвори в місцях перепадів висот суміжних будівель;
- комбіноване — поєднання верхнього і бічного освітлення.

Штучне освітлення буває двох систем: загальне і комбіноване. Загальне освітлення — це освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або стосовно розташування устаткування (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення — це освітлення, при якому до загального освітлення додається місцеве. Місцеве освітлення — це додаткове до загального освітлення, створюване світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях (поверхнях).

Таким чином доцільно використовувати поєднання природного освітлення з системою загального рівномірного освітлення, яка складається з світильників типу РСП та люмінесцентних ламп ЛД-40-60 Вт.

5.4 Заходи з пожежної безпеки :

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

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

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

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

Визначення категорії приміщення в конструкторському бюро

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

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

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

Визначення класу пожежі.

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

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);
- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, які розтоплюються;
- клас С – пожежі газів;
- клас D – пожежі металів та їх сплавів;
- клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

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

Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежогасіння.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежо-небезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок.

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

установок.

Для виробничих приміщень правила розташування та вибору засобів пожежогасіння є такими:

Пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розміщується на спеціальних пожежних щитах (стендах). Такі щити (стенди) відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні" встановлюють на території об'єкта з розрахунку один щит (стенд) на площу 5000 мІ. До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщують на стенді, слід включити: вогнегасники – 3 шт.; ящик із піском – 1 шт.; пожежне покривало розміром 2Ч2 м – 1 шт.; гаки – 3 шт.; лопати – 2 шт.; ломи – 2 шт.; сокири – 2 шт. Ящик із піском, який є елементом конструкції пожежного щита (стенда), повинен мати місткість не менше

0,1 мІ та виключати потрапляння в нього опадів.

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

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

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

Відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не має перевищувати:

20 м – для громадських будівель та споруд;

30 м – для приміщень категорій А, Б, В (горючі гази та рідини);

40 м – для приміщень категорій В, Г; 70 м – для приміщень категорії Д.

Для гасіння великих загорянь у приміщеннях категорій А, Б, В застосовують стаціонарні установки водяного, газового, хімічного та повітрянопінного гасіння.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях:

к) Важливим фактором забезпечення безаварійної роботи є вивчення і суворе дотримання всіма інженерно-технічними працівниками правил і норм техніки безпеки. Основними заходами по ліквідації наслідків аварій і стихійних лих є:

- оповіщення робітників і службовців, ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкту, екстрена евакуація;

- комплексна розвідка об'єкту на якому виникла аварія;

- рятування людей з-під завалів, із оточуючих і ушкодженних будівель і споруд;

- надання медичної допомоги потерпілим від аварії, вивіз у лікувальні установи;

- гасіння пожеж;

- локалізація аварії на комунально-енергетичних мережах, перешкоджаючих веденню рятувальних робіт;

- улаштування проїздів і підходів до місць аварій;

- руйнування ненадійних конструкцій, розбирання завалів;
- демонтаж зберігшогося устаткування, якому загрожує не-безпека;
- організація комендантської служби.

Задача кожного працюючого на підприємстві - знати основні правила поведінки при аваріях, вміти діяти в обставинах, що при цьому склалися. Ці правила і послідовність дій треба вивчати, постійно пам'ятати і вміти практично виконувати.

В аварійній ситуації важливою задачею є оповіщення про аварію. Кожний робітник і службовець будь-якого об'єкту народного господарства повинен вміти користуватися наявними на підприємстві оповіщувачами. Кожний робітник підприємства, пов'язаний з можливою газовою обстановкою, повинен знати способи виклику газорятівників.

Для ліквідації стихійних лих, виробничих аварій і рятування по-терпілих на об'єктах народного господарства у першу чергу залучають-ся спеціальні підрозділи (газорятівників, пожежників і т. ін.), при необхідності можуть залучатися формування ЦО.

З виникненням аварій робітники і службовці, що входять до складу формування ЦО, зобов'язані негайно прибути на місце збору. Робітники і службовці підприємства, що не входять до складу формувань, повинні бути також готові вести роботи по ліквідації аварії, по спасінню потерпілих на об'єктах.

Ліквідація наслідків стихійних лих і аварій може здійснюватись одночасно на всьому об'єкті або по окремих його ділянках при наявності достатніх сил і

засобів. При цьому розпочинають їх у першу чергу там, де необхідно надати допомогу людям, на ділянках, які становлять найбільшу небезпеку.

Перша медична і лікарська допомога надається перш за все потерпілим, що знаходяться у шоківому стані, а також вивільнені з-під уламків завалів. Вивільнення людей з-під великих завалів проводиться з додержанням особливих заходів перестороги, їм надається невідкладна медична допомога на місці з подальшою евакуацією у лікувальні установи.

Виробничим аваріям звичайно сприяють пожежі, що створюють у деяких випадках найбільшу небезпеку. Обстановка в осередку пожежі може створитися досить складна, особливо при наявності руйнувань, завалів, порушення і навіть припинення водопостачання. Боротьба з вогнем пов'язана із рятуванням людей, якщо частина персоналу підприємства опинилася у зоні, охопленій полум'ям. Наявність у виробництві вибухонебезпечних і швидко займистих матеріалів може погіршити становище. Тому до ліквідації пожежі необхідно залучити технічний персонал підприємства, який добре знає розташування апаратури, що знаходиться під великим тиском, місцезнаходження вибухонебезпечних чи отруйних речовин, а також можливості використання стаціонарних засобів пожежегасіння.

У першу чергу локалізують і гасять ті осередки пожежі, які становлять перешкоду рятувальним роботам і створюють загрозу подальшого поширення вогню.

Особовий склад формувань пожежегасіння повинен суворо дотримуватись правил безпеки, слідкувати за станом будівельних конструкцій, що загрожують обвалом, і не допускати, щоб вогонь оточував працюючих. При сильній

задимленості особовий склад, що приймає участь у гасінні пожежі, повинен діяти у протигазах і використовувати інші захисні засоби.

Пожежі впливають на людей дуже сильним психологічним ефектом. Відомо, що паніка серед людей навіть при невеликих пожежах є причиною значних жертв. Знаючи правила поведінки, людина, захоплена цим лихом, у будь-якій обстановці зможе не лише врятувати своє життя, але й надати допомогу у рятуванні інших людей, матеріальних цінностей від вогню.

При самопорятунку і рятуванні інших людей у будинках охоплених вогнем, діяти слід швидко, оскільки основною небезпекою є висока температура повітря, задимлення, можливі обвалення будівельних конструкцій. Палаюче приміщення треба долати, накрившись з головою мокрою ковдрою, цупкою тканиною чи верхнім одягом, крізь сильно задимлене приміщення слід повзти чи рухатись пригинаючись. Двері у задимлене приміщення слід відчиняти обережно, бо швидкий потік повітря викличе спалах полум'я. Ввійшовши у приміщення, де можуть бути люди, слід гукнути їх, відшукуючи потерпілих, треба пам'ятати, що діти від переляку ховаються під ліжку, шафу, забиваються у кутки, в інші місця.

Під час пожежі на людях спалахує одяг. При невеликих ділянках палаючого одягу вогонь може бути погашений шляхом збивання його курткою, рука вицею. Не виключено, що у деяких випадках люди в палаючому одязі намагаються бігти. Необхідно зупинити їх, накинувши на таких потерпілих будь-яке полотнище, щільно притуливши його до тіла потерпілого. Цим може бути досягнуте припинення припливу повітря до місця горіння і самогоріння.

При виникненні пожежі на виробництві у першу чергу треба повідомити пожежну команду, а потім сміливо вступати у боротьбу з вогнем.

Для гасіння пожеж застосовуються : вода, пісок, вогнегасники і інші підручні засоби . Крім цих засобів треба застосовувати підготовлений протипожежний інвентар, пінні, порошкові і вуглекислотні вогнегасники, а також підручні матеріали, що мають вогнегасну дію.

Бензин, гас, різні органічні масла і розчинники, палаючу електропроводку водою гасити не можна, їх слід гасити за допомогою пінних і порошкових вогнегасників, шляхом засиплення піском і землею, а якщо вогнище пожежі невелике - накрити його брезентовим покривалом, важкою тканиною чи одягом, змоченим водою. Палаючу електропроводку гасити можна лише впевнившись, що з неї знята напруга.

Треба бути уважним при наявності обвислих проводів: не з'ясувавши, що провід знеструмлено, слід вважати його під напругою і вживати відповідні заходи безпеки.

На ряді об'єктів народного господарства здійснюється виробництво, використання, зберігання, а у деяких районах і перевезення сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). Це стосується перш за все підприємств хімічної, нафтопереробної, нафтохімічної та інших споріднених з ним галузей промисловості, підприємств, що мають холодильні установки в яких застосовується як холодильний агент речовини типу аміаку, водопровідних і очисних споруд, що використовують хлор, залізничних станцій, що мають колії рухомого складу для СДОР, а також складів і баз з запасами отрутохімікатів, чи інших аналогічних речовин. Серед СДОР можуть бути: аміак, хлор, окис вуглецю, сірчастий ангідрид, сірковуглець, трихлористий фосфор, фтористий водень та. ін.

У наслідок стихійних лих (наприклад, під час землетрусу, пожежі чи залізничної катастрофи) чи при аварії на виробництві, можливі виливи (викиди) СДОР і пов'язані з ними зараження місцевості і повітря. При цьому не виключені ураження людей, що знаходяться у районах виливу (викиду) СДОР. Після виявлення викиду в атмосферу СДОР чи розливу її по території слід негайно сповістити всіх, хто може опинитися у небезпечній зоні, включаючи і житловий сектор, який межує з об'єктом.

Робітники і службовці, а у деяких випадках і жителі прилеглих районів на випадок аварії повинні бути забезпечені промисловими фільтруючими протигазами, призначеними для захисту від даного виду СДОР.

Робота по ліквідації аварії у першу чергу спрямована на те, щоб припинити розповсюдження отруйної речовини в атмосферу і розтікання її по місцевості. Для цього потрібно відключити уш-коджену ділянку перекрити крани і інші запірні пристрої. На розриви, що утворилися у ємностях і трубопроводах, накласти пластирі, муфти, у необхідних випадках забити пробки із дерева чи металу, перекачати СДОР з ушкоджених ємностей у справні. Крім того, для збору отруйних речовин необхідно відкопати рови і канали.

Розвідники, як тільки виявлять зараження, визначають концентрацію СДОР, уточнюють зони небезпечного і надзвичайно небезпечного зараження, позначають їх межу, встановлюють шляхи підходу, характер і масштаби руйнувань, стан людей і обладнання. Район, де відбулася аварія обов'язково оточується, посторонні не допускаються.

Органи ЦО у цей час повинні уважно стежити за метеорологічною обстановкою. Напрямок вітру і температура повітря можуть змінюватись, і це відіб'ється на характері і напрямку розповсюдження отруйних парів.

Не менш важливою турботою при ліквідації зараження є дегазація зараженої території, споруд і устаткування. Як речовини для дегазації можуть бути використані, наприклад, хлор, гашене вапно, лужні відходи промисловості. Застосовують їх найчастіше у вигляді розчинів або кашиці.

Усі хто приймає участь у ліквідації аварії, забезпечуються промисловими чи ізолюючими протигазами, захисним одягом, індивідуальними протихімічними пакетами, медичними засобами.

У зонах можливих затоплень на місцевості слід додержуватись встановленого порядку, зайняти підвищені місця. При рятувальних роботах необхідно виявляти витримку і самовладання, суворо дотримуватись вимог рятувальників. Не можна переповнювати рятувальні засоби (катери, човни, плоті), оскільки це загрожує безпеці рятувальників і врятованих. Потрапивши у воду, слід скинути із себе важкий одяг і взуття, відшукати поблизу плаваючі чи підвищені над водою предмети, скористатися ними до отримання допомоги.

У випадку одержання сигналу сповіщення населення про наближення селевого потоку чи зсуву, а також при перших ознаках їх появи, треба якомога швидше залишити приміщення попередити про небезпеку оточуючих і вийти у безпечне місце. Залишаючи приміщення, слід загасити печі, перекрити газові крани, вимкнути світло і електроприлади. Це допоможе відвернути виникненні пожеж.

ВИСНОВКИ

Перший технологічний варіант дозволяє уникнути утворення великих часток ThO_2 . проте, основна частина частинок ThO_2 в цьому випадку в 2 - 4 рази більше, ніж в третьому варіанті, що природно, знижує високотемпературні властивості дисперсно-зміцненої композитної дроту. Крім того, перший спосіб в порівнянні з двома іншими вимагає додаткового нагріву металевого порошку в відновлювальній атмосфері для перекладу азотнокислого торію в окис торію.

Другий варіант дозволяє уникнути утворення великих часток характерних для третього варіанту і в той же час основна частина частинок зміцнюючої фази дисперсні, ніж в першому варіанті. При цьому якщо врахувати укрупнення під час зварювання штабиків найдрібніших частинок, що утворюються при використанні третього варіанту, практично до розміру часток другого варіанту, найпривабливішим для подальшого більш детального дослідження виглядає другий варіант введення азотнокислого торію.

Таким чином, третій варіант введення азотнокислого торію в порівнянні з першим більш простий у виробництві, проте не дозволяє уникнути утворення невеликої кількості відносно великих часток ThO_2 . Перший технологічний варіант вільний від зазначеного недоліку, однак, основна частина частинок ThO_2 в 2 - 4 рази більше, ніж в першому варіанті, що природно, знижує високотемпературні властивості дисперсно-зміцненої композитної дроту. Крім того, перший спосіб вимагає додаткового нагріву

металевого порошку в відновлювальній атмосфері для перекладу азотнокислого торію в частинки. Другий варіант дозволяє уникнути утворення великих часток характерних для третього варіанту і в той же час основна частина частинок зміцнюючої фази дисперсні, ніж в першому варіанті, а, з огляду на укрупнення самих дрібних частинок під час зварювання штабиків, що утворюються при третьому варіанті, є сенс детальніше дослідити можливості отримання подібних композитів за другим варіантом введення азотнокислого торію.

В результаті маємо наступні висновки:

1. Найбільш дрібні частинки ThO_2 утворюються при застосуванні третього варіанту, але їх розмір збільшується при зварюванні штабиків і практично досягає величини дисперсних частинок другого варіанту;
2. Перший і другий технологічні варіанти дозволяють усунути утворення крупних частинок ThO_2 , які присутні в структурі штабиків третього варіанту;
3. Недоліком першого варіанту є те, що дрібні частинки у 2 – 4 рази крупніші порівняно з дисперсними частинками другого і третього варіантів, що звичайно знижує міцність дисперсно-зміцненого композиту при високих ($0,8 - 0,9 T_{\text{плав.}}$) температурах, до того ж перший технологічний варіант потребує додаткового нагрівання в атмосфері водню суміші металевого порошку і азотнокислого торію для перетворення останнього в частки ThO_2 .

Таким чином для подальших досліджень самим привабливим є другий технологічний варіант.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.А. Кацман, Электронные лампы: Теория, основы расчета и проектирования. М.: Высшая школа, 1979. – 39 с.
2. <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=554690> (Дата звернення 20.10.2017)
3. <http://tekhnosfera.com/volframovyy-torirovannyi-karbidirovannyi-katod-dlyamoschnyh-elektronnyh-lamp> (Дата звернення 17.10.2017)
4. В.С. Прилуцкий, Вольфрамовый торированный карбидированный катод. М.: ГУП Издательский дом «Руда и металлы» 2001. – 21 с.
5. В.С. Прилуцкий, Н.И. Ильин, В.П. Лесняк, А.А. Лисенков, Н.В. Столяров, Особенности технологии производства мощных генераторных ламп: Текст лекций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2006. – 43 с.
6. Винниченко В.С. Исследование возможности использования присадки двуокиси тория методом пропитки в производстве торированных вольфрамовых сплавов / В.С. Винниченко, В.Е. Ольшанецкий, А.В. Ткаченко / Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. -Запоріжжя, ЗНТУ -2010.-№2-С.95-98
7. А.П. Карнышев, А.К. Шануренко, Особенности тепловых процессов в мощных генераторных лампах: Учебное Пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. - 80 с.
8. С.А. Силаев, А.К. Шануренко, Методы расчета мощных электронных приборов с электростатическим управлением: Текст лекций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1998. - 48с.
9. <http://nashol.com/spravochnik-po-elektronnim-priboram-gurlev-d-s.html> Д.С.

Гурлев, Справочник по электронным приборам: 1974. – 501с. (Дата звернення 17.09.2017)

10. http://sergeyhry.narod.ru/rv/1929-2/rv1929_10_18.htm Б.П. Асеев, Генераторные лампы: Журнал «Радио всем» (Дата звернення 25.10.2017)

11. <http://www.ereport.ru/articles/commod/tungsten.htm>(Дата звернення 19.11.2017)

12. <http://www.infogeo.ru/metalls/worldprice/?vid=3> (Дата звернення 19.11.2017)

13. <http://periodicals.zntu.edu.ua/index.php/1607-6885/article/view/27947> (Дата звернення 20.11.2017)

14. Вініченко В.С. Про особливості формування комірчастої структури у W-Th дроті при його деформації / В.С. Вініченко, В.Ю. Ольшанецький, М.М. Перепьолкіна // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - Запоріжжя, ЗНТУ -2012.-№1-С.149-15

15. Винниченко В.С. Использование математического моделирования при оптимизации технологии волочения заготовок из вольфрамоториевых сплавов / В.С. Винниченко, М.Н. Перепелкина, В.Е. Ольшанецкий, П.К. Штанько / Вісник СевНТУ «Механіка, енергетика, екологія. Зб. наук. праць. Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2012. Вип.133 –С.240-242.

16. Винниченко В.С. Механизм повышения пластичности металлокерамических вольфрамовых сплавов при деформации / В.С. Винниченко, М.Н. Перепелкина / Збірник тез XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах». Запоріжжя: ЗНТУ, 2012.–С.98-99

17. Штанько П.К. Исследование механизмов повышения низкотемпературной пластичности вольфрамовых сплавов / П.К. Штанько, В.С. Винниченко, К.Л. Дикий, В.Е. Ольшанецкий / Вісник СевНТУ «Механіка, енергетика, екологія. Зб. наук. праць. Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. Вип.110.-224-226 с

18. Винниченко В.С. Влияние размера частиц двуокиси тория на склонность к расслоению вольфрамовых сплавов / К.Л. Дикий, В.С.

Винниченко, В.Е. Ольшанецкий / Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах: збірка матеріалів XII Міжнародної науково-технічної конференції, 22-25 вересня 2009 р., Запоріжжя: ЗНТУ, 2009.—С.167-169