

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра фізичного матеріалознавства
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження впливу технології переробки відпрацьованого
інструменту на властивості отримуваних твердих сплавів на основі WC-Co

(назва теми)

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ІФ-212м
Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ВИНОГРАДСЬКИЙ Дмитро

(прізвище та ініціали)

Керівник:

доцент, канд. техн. наук Вінченко В.С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент: канд. техн. наук

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерно-фізичний
Кафедра Фізичне матеріалознавство
Освітня програма Прикладне матеріалознавство
Курс II , група ІФ-212м , семестр 3

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ВИНОГРАДСЬКОГО Дмитра Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: Дослідження впливу технології переробки відпрацьованого інструменту на властивості отримуваних твердих сплавів на основі WC-Co

керівник проекту (роботи) ВІНІЧЕНКО Валерій Степанович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 2023 року

2 Строк подання студентом проекту (роботи)

3 Вихідні дані до проєкту (роботи):

Проведене дослідження властивостей виробів з переробленого відпрацьованого інструменту з твердих сплавів на основі WC-Co.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік основних питань, які потрібно розробити): Літературний огляд; Матеріали та методики досліджень; Експериментальний розділ; Охорона праці; Економічний розділ.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів):

кількість слайдів – 8, з них: титульний лист – 1; схеми – 1; графіки залежності – 1; рисунки морфології складу – 5; таблиці – 6, стовбчасті діаграми – 1.

6 Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали	Підпис, дата	
		завдан- ня видав	прийняв виконане завдання
1	ВІНІЧЕНКО Валерій Степанович		
2	ВІНІЧЕНКО Валерій Степанович		
3	ВІНІЧЕНКО Валерій Степанович		
4	НЕСТЕРОВ Олександр Васильович		
5	КРУГЛІКОВА Валентина Володимирівна		
НК	ФАСОЛЬ Єлизавета Олександрівна		

7 Дата видачі завдання «29» вересня 2023року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення із темою дипломного проєкту. Вивчення відповідної літератури	06.10.2023	
2	Розробка вступу та розділу «Літературний огляд»	13.10.2023	
3	Розробка розділу «Матеріали та методики досліджень»	20.10.2023	
4	Розробка розділу «Експериментальний розділ»	27.10.2023	
5	Розробка розділу «Охорона праці»	03.11.2023	
6	Розробка розділу «Економічний розділ»	10.11.2023	
7	Написання висновків та переліку посилань	17.11.2023	
8	Оформлення дипломного проєкту	24.11.2023	

Студент _____ / Виноградський Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ / Вініченко В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 90 с., 21 табл., 22 рис., 8 дод., 26 джерел.

ТВЕРДИЙ СПЛАВ, КАРБІД, ВОЛЬФРАМ, МОЛІБДЕН, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕХНОЛОГІЯ, ЗНОС, ТІТАН, ЛЕГУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИМОГИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, МІКРОСТРУКТУРА, СПІКАННЯ, ВАКУУМ

Об'єкт дослідження – вироби з твердих сплавів, отримані методом переробки відходів відпрацьованого інструменту.

Мета роботи – дослідити можливості підвищення експлуатаційних властивостей твердих сплавів, отриманих за технологією переробки відходів інструменту з твердого сплаву.

Викладено методи дослідження хімічного складу та фізико-механічних властивостей спеченого сплаву з переробленого відпрацьованого інструменту, а саме методом електронної та оптичної мікроскопії з використанням електронних та оптичних мікроскопів, випробування границі міцності зразків на згин з використанням розривної машини, випробування зразків на твердість, з використанням стаціонарного твердоміру Роквелла, а також вимірювання щільності за допомогою запрограмованих аналітичних ваг на підставі результатів вимірювання маси тіла в повітрі та в рідині з відомою густиною гідростатичним методом.

Викладено загальні відомості про тверді сплави класифікація, мікроструктура та фізико-хімічні властивості. Наведено технологію отримання виробів із твердого сплаву, типу ВК, та технологію переробки відпрацьованого інструменту.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Літературний огляд.....	9
1.1 Класифікація твердих сплавів.....	9
1.1.1 Класифікація твердих сплавів за складом.....	9
1.1.2 Класифікація марок твердих сплавів за ISO.....	12
1.1.3 Класифікація сплавів за галузями застосування.....	13
1.2 Хімічний склад та мікроструктура твердих сплавів на основі WC-Co.....	13
1.3 Механічні та фізичні властивості твердих сплавів.....	16
1.4 Маршрутна технологія виготовлення виробів із твердих сплавів.....	20
1.5 Технологія переробки відходів твердих сплавів для виготовлення інструментів.....	23
2 Матеріали та методика досліджень.....	32
2.1 Характеристика вихідних матеріалів	32
2.2 Підготовки сировини із відходів твердого сплаву	33
2.3 Опис технології отримання виробів із відходів твердих сплавів	37
2.4 Методика дослідження та випробувань виробів із переробленого відпрацьованого інструменту.....	40
2.4.1 Випробування границі міцності на згин.....	40
2.4.2 Випробування на твердість.....	41
2.4.3 Вимірювання щільності.....	45
3 Експериментальний розділ.....	47
3.1 Дослідження впливу режимів спікання порошків із відпрацьованого інструменту на властивості отримуваних твердих сплавів.....	47
3.2 Рекомендації щодо режимів та умов спікання порошків із відпрацьованого інструменту.....	51
4 Охорона праці.....	54
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	54

4.2	Заходи забезпечення безпеки.....	56
4.3	Заходи з виробничої санітарії.....	62
4.4	Заходи з пожежної безпеки.....	64
4.5	Заходи безпеки в умовах НС.....	66
5	Економіко-організаційна частина.....	72
5.1	Актуальність теми з позиції маркетингу.....	72
5.2	Послідовний аналіз.....	73
	Висновки.....	85
	Перелік джерел посилань.....	87
	ДОДАТОК А Презентація.....	91
	ДОДАТОК Б Мікроструктура та хімічний склад твердого сплаву на основі WC-Co.....	92
	ДОДАТОК В Фізико-механічні властивості твердого сплаву на основі WC-Co.....	93
	ДОДАТОК Г Графік спікання виробів із твердого сплаву типу BK10-XOM та мікроструктура спечених зразків.....	94
	ДОДАТОК Д Принципова схема повітрострумного млина.....	95
	ДОДАТОК Е Умови спікання двох партій зразків, отримання фізико-механічних властивостей та контроль мікроструктури.....	96
	ДОДАТОК Є Стовбчаста діаграма отриманих фізико-механічних властивостей досліджуемого твердого сплаву BK10-XOM за умовами спікання двох партій зразків.....	97
	ДОДАТОК Ж Контроль мікроструктури спечених зразків.....	98

ВСТУП

Напрямок переробки відпрацьованого інструменту із твердого сплаву є актуальним на сьогоднішній день. Сбір та переробка відпрацьованого інструменту із твердого сплаву дозволяє скоротити видобуток вольфрамової сировини, зберегти при цьому природній ландшафт та знизити негативний вплив на навколишнє середовище у зв'язку із зменшенням площі розробки родовищ.

Отже за останнє десятиліття утилізація твердосплавного брухту завоює дедалі більшу і більшу популярність і сьогодні є дуже важливим фактором у світовому ланцюжку поставок вольфраму. Рушійною силою такого розвитку стали відразу кілька факторів:

- Економія - зниження витрат на сировину досягаються шляхом переробки;
- Навколишнє середовище - завдяки рециркуляції знижується вплив на навколишнє середовище;
- Стратегічний фактор. Вольфрам - це цінний і обмежений ресурс, що видобувається тільки в декількох країнах.

До теперішнього часу у світі розроблено і застосовується безліч різноманітних методів переробки вольфрамівмісного скрапу та їхніх варіантів, у зв'язку з чим становить великий практичний інтерес аналіз переваг і недоліків цих методів, обмежень за видами скрапу, що переробляється, і якістю одержуваних регенерованих продуктів, а також поширеності методів переробки і можливості їх подальшого вдосконалення.

Перераховані аспекти становлять предмет цього огляду стосовно до переробки скрапу твердих сплавів групи ВК.

Нині відома досить велика кількість досліджень, присвячених дослідженню впливу дисперсності, умов і режимів спікання вихідних порошків на структуру та властивості твердих сплавів [1]. Дедалі більше набуває актуаль-

ності питання культури виробництва порошкових матеріалів і твердих сплавів на їхній основі. Проведено вже не одну дослідницьку роботу, яка довела, як на пряму залежать кінцеві властивості одержуваних виробів від якості вихідної суміші, її підготовки до спікання, режиму спікання та інших чинників.

Властивості спечених сплавів значною мірою визначаються характеристиками вихідної сировини та проміжних продуктів твердосплавного виробництва, що змінюються залежно від різних технологічних параметрів, таких як час помолу, амплітуда і частота помолу [2]. Тому даний аспект є актуальним на сьогоднішній день в інструментальному виробництві та є необхідним для дослідження залежності якості вихідних порошків, режимів спікання на фізико-механічні властивості твердого сплаву, з метою отримання більш досконалого за характеристиками та структурою матеріалу.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Класифікація твердих сплавів

1.1.1 Класифікація твердих сплавів за складом

Тверді сплави це зносостійкі матеріали з великою твердістю. Властивості таких сплавів мало залежать від температури аж до 1150°C. У їх склад входять такі тугоплавкі елементи, як вольфрам, кобальт, молібден, хром та інші.

Всі сучасні тверді сплави можна класифікувати за своїм складом на чотири основні групи:

- вольфрамокобальтові (ВК) тверді сплави WC-Co;
- титановольфрамокобальтові (ТК) тверді сплави WC-TiC-Co;
- титанотанталовольфрамокобальтові (ТТК) тверді сплави WC-TiC-TaC-Co;
- безвольфрамові (БВТС) тверді сплави TiC (TiN)-Ni-Mo.

Вольфрамові або вольфрамокобальтові (ВК) тверді сплави (однокарбідні) складаються з карбіду вольфраму WC і кобальту (в'язки). Сплави цієї групи різняться вмістом кобальту (від 3 до 15%), розмірами зерен карбіду вольфраму і технологією виготовлення. При збільшенні вмісту кобальту збільшуються границя міцності твердого сплаву під час вигину, ударна в'язкість і пластична деформація, однак, при цьому зменшуються твердість і модуль пружності [3].

Теплостійкість сплавів групи ВК становить: ВК8 - 950°C, ВК6 - 1050°C, ВК3 - 1100°C, що дає змогу обробляти метали з більш високими швидкостями різання, ніж інструментальними сталями. Цифри, що стоять за літерою К, означають процентний вміст кобальту, решта - WC. Міцність і ударна в'язкість сплавів ВК збільшується в міру зростання вмісту кобальту. У такому ж порядку зменшується твердість сплавів цієї групи.

Вольфрамокобальтові тверді сплави рекомендуються переважно для обробки матеріалів, що дають під час різання стружку надлому: чавунів, кольорових металів (бронз, силумінів, дуралюмінів), склопластиків. Дрібнозернисті та особливо дрібнозернисті сплави цієї групи (мають в позначенні літери М і ОМ, відповідно), рекомендуються також для обробки жароміцних і корозійностійких сталей і сплавів.

Значний вплив на фізико-механічні та експлуатаційні властивості твердих сплавів, зокрема, на основі WC-Co, має розмір зерен твердої фази. У сплавах нормальної зернистості середній розмір зерен WC становить 2-3 мкм. За однакового вмісту кобальту зменшення середнього розміру зерен призводить до збільшення твердості та зносостійкості за незначного зменшення міцності.

Титановольфрамові або титановольфрамокобальтові (ТК) тверді сплави WC-TiC-Co (двокарбідні) призначені для обробки сталей і кольорових металів (латуні), що дають при різанні зливну стружку. Порівняно з твердими сплавами ВК на основі WC-Co, вони мають більшу стійкість до окислення, твердість і теплостійкість, менші значення тепло і електропровідності, модуля пружності [4].

Карбіди вольфраму і титану, що становлять основу твердих сплавів, мають високу природну теплостійкість. Теплостійкість сплавів групи ТК становить: T5K10 - 1100°C, T14K8 і T30K4 - 1150°C. Цифра, що стоїть після літери К, означає процентний вміст кобальту, цифра за літерою Т - вміст TiC, решта - WC. Збільшення вмісту в твердому сплаві карбідів вольфраму і титану за відповідного зменшення вмісту кобальту веде до підвищення теплостійкості твердих сплавів.

У твердих сплавів на основі WC-TiC-Co, так само як і у сплавів вольфрамокобальтової групи, границя міцності під час вигину та ударна в'язкість збільшуються зі зростанням вмісту кобальту, при цьому зменшується зносостійкість. Тому сплави T30K4 і T15K6 застосовуються під час чистової та напівчистової обробки сталей з високими швидкостями різання і малими нава-

нтаженнями на інструмент, а сплави T5K10 і T5K12 призначені для роботи у важких умовах ударних навантажень зі зниженою швидкістю різання.

Титанотанталовольфраміві або титанотанталовольфрамокобальтові (ТТК) тверді сплави WC-TiC-TaC-Co (трьохкарбідні) вирізняються підвищеною міцністю та високою твердістю (зокрема за температур 600-800°C).

Карбід танталу зменшує повзучість твердих сплавів, істотно підвищує границю втоми при циклічному навантаженні, а також термостійкість і стійкість до окислення на повітрі. У позначеннях сплавів цієї групи цифри, що стоять за буквами ТТ, означають сумарний вміст карбідів титану і танталу, решта - WC.

Сплави групи ТТК за застосовністю є універсальними і їх можна використовувати як під час обробки сталі, так і під час обробки чавуну. Основна сфера застосування трьохкарбідних сплавів - різання з дуже великими перетинами зрізу в умовах точіння і стругання, а також обробка з важкими ударами. У цих випадках підвищена міцність, зумовлена наявністю карбідів танталу, компенсує їхню знижену теплостійкість.

Безвольфраміві тверді сплави, як і вольфрамівмісні сплави, є продуктами порошкової металургії, проте як тверду зносостійку фазу в них використовують карбід і карбонітрид титану, які мають високу твердість, знос і окалинотійкість. Як цементувальний метал застосовується нікель, а для поліпшення змочування карбідної фази в процесі спікання розплавленою зв'язкою і, одночасно, для зниження крихкості БВТС до їхнього складу вводиться молібден і ніобій.

БВТС відрізняються також зниженою схильністю до адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом, що зменшує знос інструменту під час обробки сталей і дає змогу отримувати під час їхньої обробки низьку шорсткість обробленої поверхні та високу розмірну точність. Знижена схильність до адгезії також важлива під час обробки нікелю, магнітних сплавів та інших в'язких матеріалів.

Однак, характеристики міцності безвольфрамових твердих сплавів у багатьох випадках нижчі, ніж у твердих сплавів, що містять вольфрам. До недоліків БВТС слід віднести і нижчі порівняно з вольфрамовими твердими сплавами значення модуля пружності, теплопровідності, а також вищий коефіцієнт термічного розширення, що зумовлює їхню вищу чутливість до ударних і теплових навантажень.

1.1.2 Класифікація марок твердих сплавів за ISO

Розвиток виробництва твердих сплавів і подальше збільшення кількості їхніх марок, а також різноманітність у їхніх позначеннях, змусило Міжнародну організацію зі стандартизації (ISO) виступити з пропозицією щодо запровадження єдиного позначення марок сплавів, які застосовуються під час обробки різанням. Було запропоновано розділити всі сплави на групи залежно від оброблюваного матеріалу, які зі свого боку підрозділяються на підгрупи залежно від конкретних умов застосування. Сплави для обробки різанням матеріалів, що дають зливну стружку (сталь, сталеве лиття, ковкий чавун), позначаються літерою Р (синій колір), для матеріалів, що дають подрібнену стружку (сірий чавун, кольорові метали та їхні сплави, неметалеві матеріали), літерою К (колір червоний), і так звані "універсальні" сплави, тобто придатні для обробки як чавуну, так і сталі, літерою М (жовтий колір). Підгрупи сплавів усередині кожної з таких груп, що призначаються для певних умов експлуатації, позначають двозначною цифрою, яку додають до позначення (літери) основної групи, наприклад, Р01, М20, К30. Зростання цифр вказує на підвищення міцності і зниження твердості, зносостійкості та швидкостей різання для сплавів усередині цієї підгрупи.

Зі свого боку підгрупа може складатися з декількох марок. Так, підгрупа Р01, зважаючи на значну кількість марок сплавів, що призначаються для

чистового оброблення з малим перетином зрізу за високих швидкостей різання, підрозділяється на PO1,2; PO1,3; PO1,4.

Нині класифікацією сплавів за ISO широко користуються у всіх країнах для характеристики областей застосування різних марок сплавів.

1.1.3 Класифікація сплавів за галузями застосування

Усі тверді сплави також можна класифікувати за галузями їх застосування відповідно їх властивостей.

За галузями застосування розрізняють:

- різний різальний інструмент (різці, свердла, розгортки, фрези, зенкери та ін.) (приблизно 66 % від загального випуску).
- буровий інструмент (різці, шарошки, зубки та ін.). Гірничодобувна і будівельна індустрія. (приблизно 27 % від загального випуску).
- Спецпризначення (деревообробка, конструкційні деталі, обробка металів тиском) (5...7 %):
 - зносостійкий штамповий і конструкційний інструмент (волоки, матриці, пуансони, конструкційні деталі, електрод-інструмент тощо);
 - високотемпературні, корозійні, окалинотійкі вироби;
 - вироби оборонної промисловості (боєголовки, паски та ін.);
 - наплавочні сплави тощо.

1.2 Хімічний склад та мікроструктура твердих сплавів на основі WC-Co

Якість і ріжучі властивості порошкових твердих сплавів залежать від їхньої мікроструктури.

Мікроструктура титановольфрамокобальтового твердого сплаву BK15 після травлення насиченим солянокислим розчином хлорного заліза (рис 1.1) виявляє такі дві фази: світлі кутасті та шпалоподібні зерна фази WC; протравлені в темний колір ділянки фази твердого розчину WC у кобальті [5].

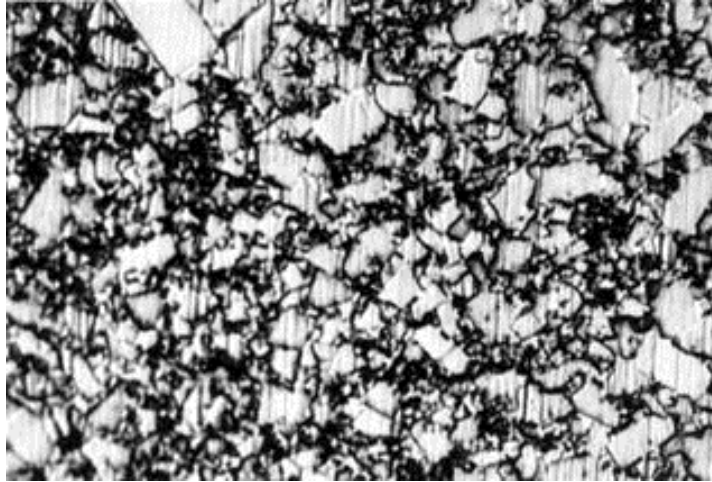


Рисунок 1.1 - Мікроструктура твердого сплаву BK15

Світлі зерна WC є дуже твердими, у різальному інструменті вони слугують елементарними різальними частинками, а твердий розчин WC у кобальті - відносно менш твердий, але в'язкіший - слугує зв'язкою (цементом), що з'єднує між собою зерна WC. Твердий розчин WC у кобальті краще протрується легким окисненням на повітрі в електричній печі за 400°C протягом 10 хв, але обриси WC виявляються тут менш чітко. Загалом, чим дрібніші частинки (зерна) і чим рівномірніше вони розподілені в мікроструктурі, тим кращі ріжучі властивості і тим вища міцність металокерамічного (порошкового) вольфрамового твердого сплаву цієї марки. Великі ж зерна WC погіршують властивості цих сплавів.

Мікроструктура титановольфрамокобальтових сплавів групи ТК після травлення окисненням окисненням на повітрі в електропечі за 400 °C упродовж 40 хв. (рис. 1.2) [5], складається з трьох фаз: незграбних світлих зерен фази WC, облямованих темною фазою (твердого розчину карбідів WC і TiC у кобальті та сірої титанової фази), твердого розчину WC у TiC.

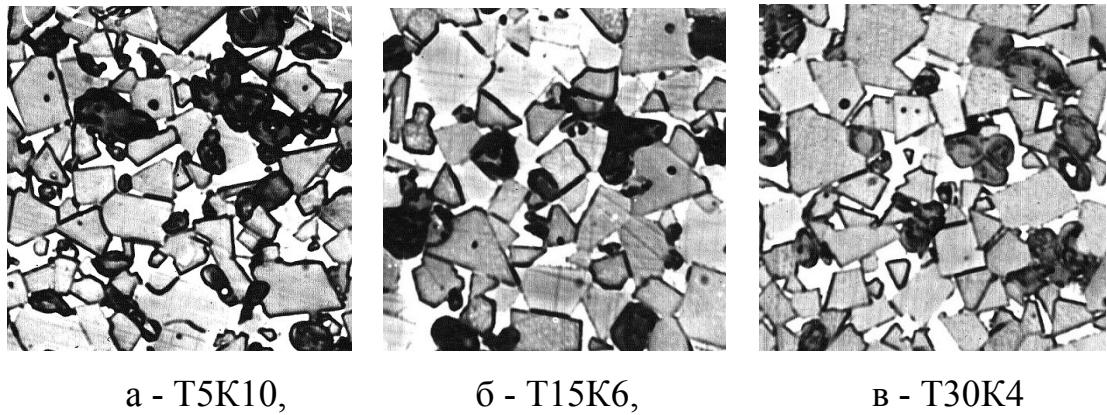


Рисунок 1.2 - Мікроструктура сплавів ТК. Карбідна фаза ($\times 1500$)

Карбід вольфраму WC майже не розчиняє титану, натомість карбід титану TiC розчиняє дуже багато вольфраму, наприклад, до 70% при кімнатній температурі і до 90% при високій температурі.

Чим дрібніше і рівномірніше розподілені світлі зерна фази WC, тим кращі ріжучі властивості і міцність твердого сплаву T15K6.

Зерна титанової фази мають округлу форму; вони виявляються шляхом травлення в лужному розчині $K_4Fe(CN)_6$. Хорошим ріжучим властивостям сплаву T15K6 відповідає мікроструктура із середніх або великих зерен титанової фази.

Надлишок вуглецю в порошкових твердих сплавах викликає появу в їхній мікроструктурі графіту, а за нестачі вуглецю утворюється p_1 -фаза (W_4Co_4C).

Присутність графіту, p_1 -фази та інших сторонніх включень у мікроструктурі порошкових твердих сплавів погіршує їхню якість.

Мікроструктура вольфрамокобальтових твердих сплавів типу ВК являє собою тверді зерна карбіду вольфраму, розташовані в м'якій кобальтовій матриці (рис 1.3). Форма зерен карбіду вольфраму, що мають гексоканальну щільноупаковану кристалічну решітку, у твердих сплавах може змінюватися від шестигранної до трикутної форми з деякими відхиленнями [6]

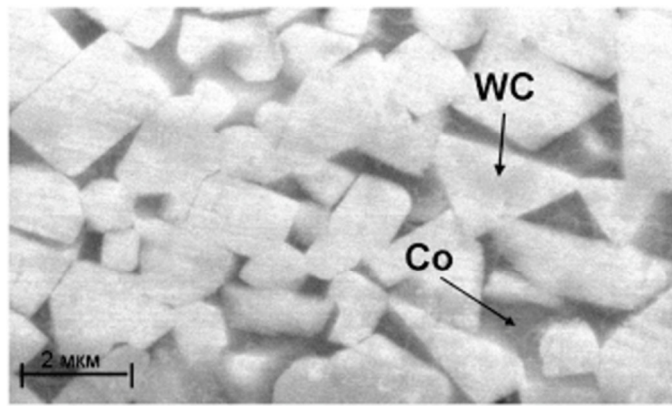


Рисунок 1.3 - Мікроструктура звичайного середньозернистого WC-Co твердого сплаву

Хімічний склад вольфрамокобальтових твердих сплавів типу ВК

Таблиця 1.1 - Хімічний склад вольфрамокобальтових твердих сплавів типу ВК

Матеріал	Хімічний склад, %				Прим. O ₂ , %
	Co	Fe	C _{заг}	C _{вільн}	
ВК8	7,7...8,2	до 0,4	до 5,2	до 0,2	до 0,8
ВК10	9,5...10,5	до 0,5	до 5,4	до 0,2	до 0,8

1.3 Механічні та фізичні властивості твердих сплавів

Механічні та фізичні властивості. Границя міцності на згин і твердість порошкового твердого сплаву залежать від вмісту в ньому кобальту. Що більше у твердому сплаві кобальту і що більші зерна карбідів, то вища границя міцності на вигин, але тим нижча твердість. Однак підвищення вмісту кобальту понад 15% порушує суцільний каркас із зерен карбіду і різко знижує границю міцності на згин.

У разі зменшення вмісту кобальту і застосування дрібнозернистих карбідів, які краще розчиняються в кобальті, в'язкість і границя міцності на вигин знижуються, але твердість і зносостійкість збільшуються. Питома вага характеризує ступінь пористості сплаву. Висока теплопровідність сприяє відведенню тепла від ріжучої кромки і збільшує стійкість інструменту. Червоність стійкість твердих сплавів, тобто здатність зберігати структуру і ріжучі властивості за високих температур, значно вища за червоність швидкорізальної сталі. При цьому чим менше кобальту в сплаві і чим він дрібнозернистіший, тим вища червоність стійкість. Титановольфрамкові сплави мають більшу червоність стійкість, ніж однокарбідні вольфрамкові, що особливо важливо під час обробки сталі. Крім того, наявність карбіду титану знижує коефіцієнт тертя і збільшує зносостійкість двокарбідних сплавів.

Злипання або зчеплення твердого сплаву з оброблюваним матеріалом різко погіршує оброблюваність, особливо сталевих деталей. Титановольфрамкові тверді сплави групи ТК вирізняються меншим злипанням, яке починається у них за вищих температур, ніж у вольфрамкових ВК. Крім того, чим менше у твердому сплаві кобальту, тим менше злипання.

Склад і характеристики основних фізико-механічних властивостей сплавів на основі WC-Co, викладено у таблиці 1.2 [6].

Таблиця 1.2 - Склад і характеристики основних фізико-механічних властивостей сплавів на основі WC-Co (група ВК)

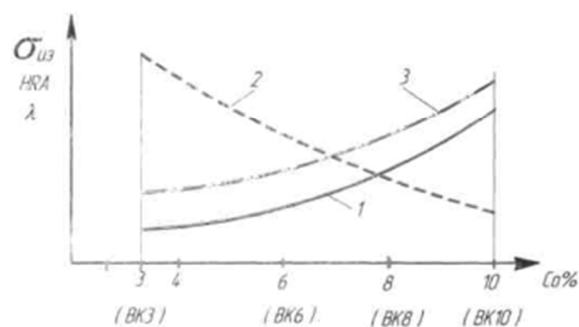
№ п/п	Сплав	Склад сплаву, %			Характеристики фізико-механічних властивостей		
		WC	TaC	Co	Границя міцності при згині σ_{zg} , МПа	Густина $\rho \times 10^{-3}$, кг/м ³	HRA, Не менш
1	ВК3	97	-	3	1176	15,0-15,3	89,5

Продовження таблиці 1.2

2	ВК3-М	97	-	3	1176	15,0-15,3	91,0
3	ВК4	96	-	4	1519	14,9-15,2	89,5
4	ВК6	94	-	6	1519	14,6-15,0	88,5
5	ВК6-М	94	-	6	1421	14,8-15,1	90,0
6	ВК6-ОМ	92	2	6	1274	14,7-15,0	90,5
7	ВК8	92	-	8	1666	14,4-14,8	87,5
8	ВК10	90	-	10	1764	14,2-14,6	87,0
9	ВК10-ОМ	88	2	10	1614	14,3-14,6	88,0
10	ВК10-ХОМ	90	-	10	1470	14,3-14,6	88,5

В умовному позначенні сплаву цифра показує процентний вміст кобальтової зв'язки. Наприклад позначення ВК6 показує, що в ньому 6% кобальту і 94% карбідів вольфраму.

При збільшенні в сплавах вмісту кобальту в діапазоні від 3 до 10% границя міцності, ударна в'язкість і пластична деформація зростають, тоді як твердість і модуль пружності зменшуються. Зі зростанням вмісту кобальту підвищуються теплопровідність сплавів та їхній коефіцієнт термічного розширення (рис. 1.4)



1 - Міцність на згин $\sigma_{\text{згин}}$; 2 - Твердість – HRA; 3 - Теплопровідність – λ

Рисунок 1.4 - Вплив кількості кобальту на властивості твердого сплаву групи (ВК)

З усіх наявних твердих сплавів, сплави групи ВК за однакового вмісту кобальту володіють вищими ударною в'язкістю і границею міцності під час згину, а також кращою тепло і електропровідністю. Однак стійкість цих сплавів до окислення і корозії значно нижча, крім того, вони мають велику схильність до захоплення зі стружкою під час обробки різанням. За однакового вмісту кобальту фізико-механічні та ріжучі властивості сплавів значною мірою визначаються середнім розміром зерен карбіду вольфраму (WC). Розроблені технологічні прийоми дають змогу отримувати тверді сплави, в яких середній розмір зерен карбідної складової може змінюватися від часток мікрометра до 10-15 мкм.

1.4 Маршрутна технологія виготовлення виробів із твердих сплавів

Технологія виготовлення виробів із твердого сплаву на машинобудівних інструментальних та спеціальних заготівельних підприємствах уявляє собою логічну послідовність технологічних операцій, виконання яких дозволяє отримати якісні вироби із відповідними характеристиками та властивостями матеріалу.

При розробці плану маршрутної технології необхідно чітко і ґрунтовно визначитись з переліком і назвою технологічних операцій.

Маршрутна технологія уявляє собою рух заготовок по цехам та відділенням підприємства, в ній зазначаються виконувані операції, які можуть повторюватися, але мати різне призначення, режими та забезпечувати зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури та фізико-механічних властивостей.

У таблиці 1.3 приведено маршрутну технологію виготовлення твердих сплавів

Таблиця 1.3 - Маршрутна технологія виготовлення твердих сплавів

№	Назва операції	Цех(дільниця)	Призначення
1	2	3	4
1.	Вхідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу
2.	Заготівельна	Заготівельний цех	Підготовка пластифікатора (синтетичний каучук) (порізка, сушка, та розчин у бензині) та підготовка твёрдосплавного порошку
3.	Змішування	Заготівельний цех	Змішування твёрдосплавного порошку та пластифікатора.
4.	Вихідний контроль	Заготівельний цех	Контроль хімічного складу
5.	Сушіння суміші	Інструментальний цех	Сушіння суміші в сушильних шафах з проміжним перемішуванням для досягнення мінімальної вологості
6.	Протирання	Інструментальний цех	Протирання суміші через сито, для досягнення заданої фракції порошку
7.	Пресування	Пресувальний цех	Надання виробу необхідних розмірів, геометрії, шорсткості, відповідно робочому кресленню

Продовження таблиці 1.3

8.	Сушіння виробів	Інструментальний цех	Сушіння суміші в сушильних шафах
9.	Спікання виробів	Термічний цех	Отримання виробами заданих фізико-механічних властивостей та мікроструктури
10.	Контроль	Лабораторія	Повний контроль виробів хімічного складу та мікроструктури, фізико-механічних властивостей відповідно технічним умовам
11.	Парафінування	Інструментальний цех	Консервація виробів для зберігання та транспортування

Пояснення до таблиці 1.3 основних операцій технологічного процесу виготовлення виробів із твердого сплаву:

- Вхідний контроль проводиться для контролю хімічного складу, розмірів, макроструктури та відсутності дефектів і домішок у твердосплавному порошку.

- Заготівельна операція включає в себе : підготовка пластифікатора, а саме, синтетичний каучук промити, витримати в гарячій воді, порізати пластинками та просушити. Розчинити синтетичний каучук в бензині, відстояти та відфільтрувати.

- Змішування твердосплавного порошку з пластифікатором. В заданих технологічним процесом пропорціях пластифікатора і твердосплавного порошку механічно змішують, до створення необхідної консистенції.

- Сушіння суміші. Отриману суміш завантажують в сушильні шафи з перемішуванням суміші за технологією для рівномірного просушування.
- Протирання. Відбувається протирання пластифікованої суміші крізь вібросито, з коміркою 0,25-0,5 мм для отримання порошку необхідної фракції. А також засипка отриманої суміші в щільно закриту тару, для подальшого використання
- Пресування або формування пресуванням, відбувається надання виробу необхідних розмірів, геометрії. За технологією необхідно точно зважити отриману з попередньої операції суміш, засипати у прес форму, розрівняти та провести пресування.
- Сушіння виробів. Після пресування проводиться просушування виробів перед спіканням
- Спікання виробів. Проводиться для надання виробу кінцевої форми, мікроструктури та фізико-механічних властивостей. Відбувається у два етапи: попереднє спікання, нагрівають до температури 650-700°C з витримкою 2 год., далі нагрівання до температури 950+50°C з витримкою 25 хв. Після чого йде кінцеве спікання, нагрів до температури 1380°C з витримкою 35 хвилин. (рис.1.5)
- Вихідний контроль. Проводиться в лабораторії інструментального цеху. Хімічний аналіз для контролю хімічного складу виробу згідно технічним умовам та Держстандартом, контроль мікроструктури та випробуванням для контролю фізико-механічних властивостей виробів, а саме твердості HRA, границі міцності при згині, щільності тощо.

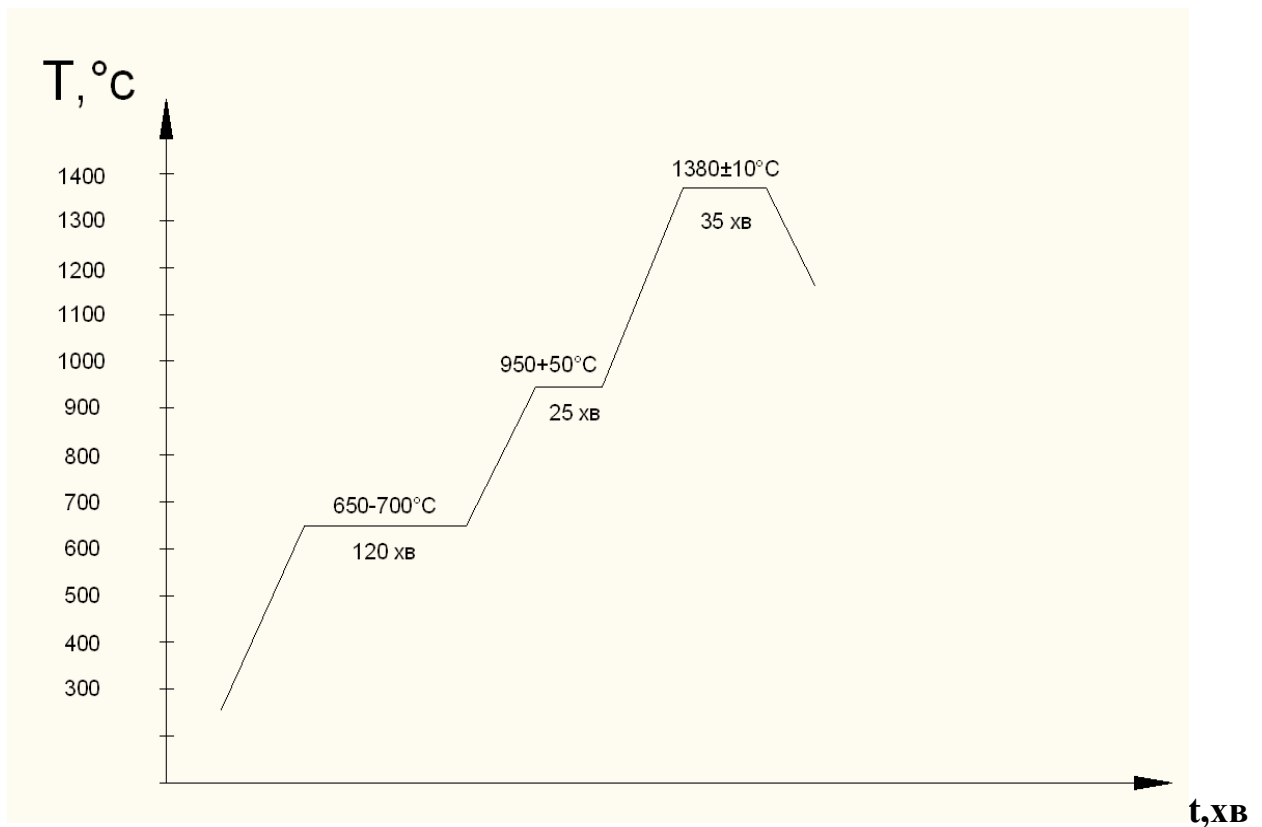


Рисунок 1.5 - Графік спікання виробів твердого сплаву типу ВК10-ХОМ

1.5 Технологія переробки відходів твердих сплавів для виготовлення інструментів.

Нині на машинобудівних, трубних, сталепрокатних, гірничорудних та інших підприємствах України зосереджено близько 300 тонн брухту та відходів вольфрам-кобальтових твердих сплавів. Вирішення проблеми використання відпрацьованого твердосплавного інструменту має важливе значення для промисловості України.

Розроблено ефективну, економічну та екологічно чисту технологію регенерації відходів твердих сплавів механічним способом, яка включає дроблення, подрібнення, усереднення, розсівання та одержання готових виробів методом пресування та спікання (рис. 1.6).

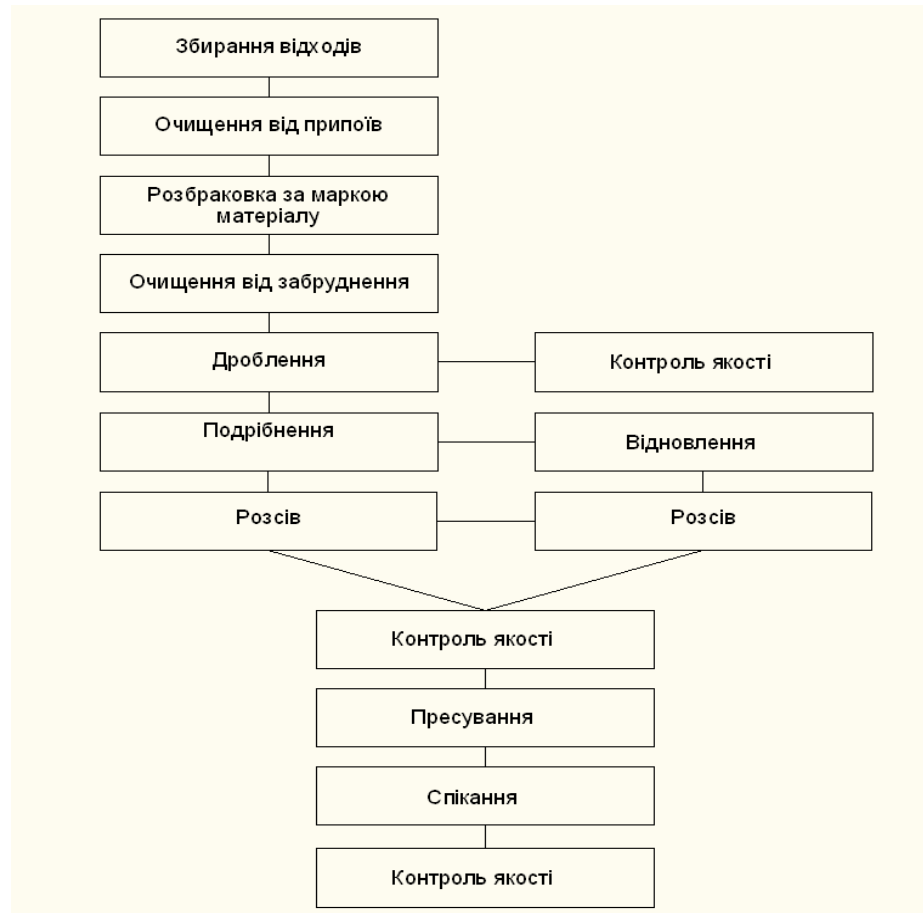


Рисунок 1.6 - Схема переробки відходів твердого сплаву

Принциповою відмінністю нової технології від наявних технологій регенерації відходів твердих сплавів є розв'язання проблем очищення відходів від припою і розбраковування їх за марками.

Реалізація запропонованої технології регенерації відходів твердих сплавів здійснювалася на базовому і розробленому спеціальному обладнанні.



Рисунок 1.7 - Відходи відпрацьованих твердих сплавів

Спосіб очищення твердосплавних виробів від припоїв ґрунтується на попередньому механічному очищенні поверхні від напайки та 2-х стадійному хімічному очищенні, у процесі якого контролюється ступінь очищення. Методику випробувано під час очищення дослідної партії вставок бурового та ріжучого інструменту, в результаті якої було отримано позитивні результати [7].

Розбракування відходів твердосплавного інструменту засноване на рентгеноспектральному аналізі кожного зразка за допомогою переносного аналізатора. Спосіб випробуваний під час розбракування твердих сплавів марок ВК6, ВК8 і ВК10 і також дав позитивні результати.

У більшості випадків, коли необхідно переробити відпрацьований інструмент твердого сплаву, типу різноманітних пластин, напайок, різців, та інших виробів (рис.1.7), використовують гідравлічні преса, з зусиллям пресування 250т. Але у випадку, коли необхідно переробити відпрацьований інструмент більш великої форми, наприклад, наконечники та леза бурових головок, та іншого інструменту, що використовується наприклад у гірничодобувної промисловості, на ряду з дробленням відпрацьованого інструменту існує два основні процеси переробки:

- Хімічний процес, тобто у ньому брухт проходить той самий металургійний процес, що і звичайний сплав;
- Процес цинкотермії, під час якого в печі брухт переробляють безпосередньо на порошок сплаву карбід-кобальту карбіду-вольфраму.

Процес цинкотермії [8] передбачає обробку твердого сплаву цинком на графітових човнах у спеціальній печі. Під час процесу розплавлений цинк реагує з кобальтовою зв'язкою твердого сплаву.



Рисунок 1.8 - Реактор деструкції твердих сплавів методом цинкотермії

Існує об'ємне розширення, пов'язане з цією реакцією, і, як результат, твердий сплав набуває пористої форми. Після завершення реакції цинк відокремлюють для повторного використання.

Після такої обробки пористий твердий сплав подрібнюють на порошок. Потім, за допомогою гомогенізації, отримують високоякісний порошок карбиду вольфраму-кобальту, який може використовуватися як сировина для виробництва готового до пресування порошку.



а - вихідна сировина; б - пористий метал; в - подрібнений метал;

Рисунок 1.9 - Схема переробки відходів методом цинкотермії

Як сировина потрібен чистий і добре відсортований брухт, інакше хімічна реакція не протікає і немає гарантій отримання високоякісного порошку.

У цьому відношенні процес цинкотермії істотно відрізняється від хімічних процесів, в яких можуть використовуватися змішані види брухту.

Під час виробництва нових твердосплавних виробів порошок карбіду вольфраму-кобальту, отриманий способом цинкотермії, зазвичай змішують з первинним карбідом вольфраму і порошками кобальту. Кількість переробленого матеріалу, яка може бути використана при виробництві готового до пресування порошку, варіюється в діапазоні 20 ... 80% залежно від застосування.

Переваги процесу цинкотермії:

- значна економія порівняно з хімічною переробкою;
- екологічно чисті технології, а саме, під час вилучення і повторного використання цинку в процесі термічної обробки відсутні викиди. Знижено споживання енергії та знижено викиди двоокису вуглецю порівняно з переробкою первинної сировини.

Дроблення вихідних матеріалів яке проводиться на гідравлічному пресі, з зусиллям пресування 250т., оснащеному пристроєм, що забезпечує високий ступінь скорочення крупності матеріалу (до 50 разів) і отримання подрібненого продукту у вигляді часток ізометричної форми фракції менше 1000 мкм., відбувається за допомогою пристрою для подрібнення вхідних матеріалів. Цей пристрій являє собою два бойка, що захищені металевим кожухом, який має засувку, що дозволяє зручно виконувати загрузку та вигризку матеріала.

Дослідження мікроструктури частинок після травлення показало, що руйнування відбувається здебільшого по межах α -фаза (WC) - β -фаза (Co) і по сполучній β -фазі (Co), зрідка по тілу α -фази (WC). Структура подрібненого порошку за основними показниками якості відповідає структурі вихідного регенованого твердого сплаву.

У результаті випробування різних типів подрібнювальних пристроїв на другій стадії технологічного процесу найперспективнішим подрібнювальним пристроєм є повітроструменевий млин, що дає змогу подрібнювати подрібнений порошок усіх марок твердих сплавів, у т.ч. і BK10, BK20.

Розроблений режим подрібнення забезпечує отримання тонкодисперсного порошку з масовою часткою кисню до 0,3-0,4%.

Морфологію подрібнених частинок твердих сплавів досліджували методом растрової електронної мікроскопії при збільшенні 5000х.

З метою підвищення роздільної здатності аналізованих об'єктів було відпрацьовано методику препарування подрібнених порошків міддю і алюмінієм. Встановлено, що регенерований порошок твердого сплаву являє собою частинки розміром до 10 мкм переважно округлої та огранованої форми.

Подрібнені частинки складаються з одиничних або декількох зерен карбиду вольфраму, частково покритих шаром кобальту (рис. 1.10).

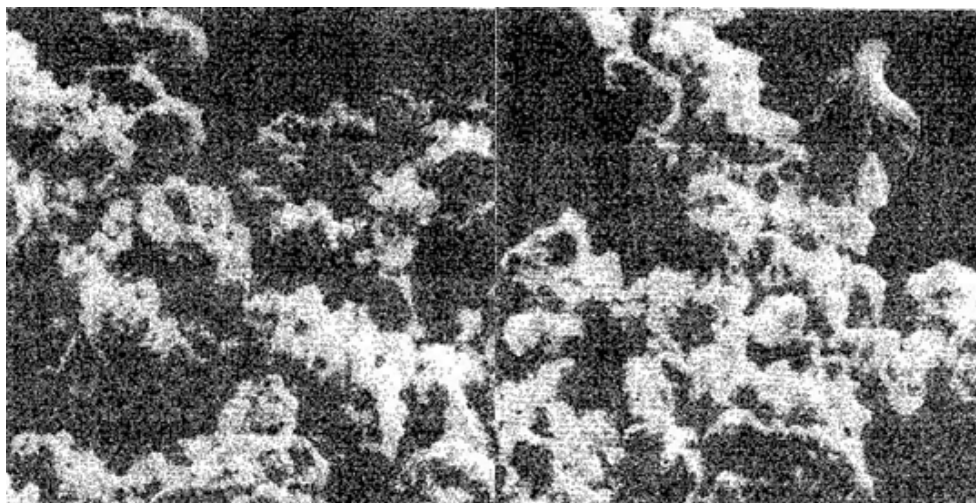


Рисунок 1.10 - Регенерований порошок $\times 5000$ (Растрова електрона мікроскопія)

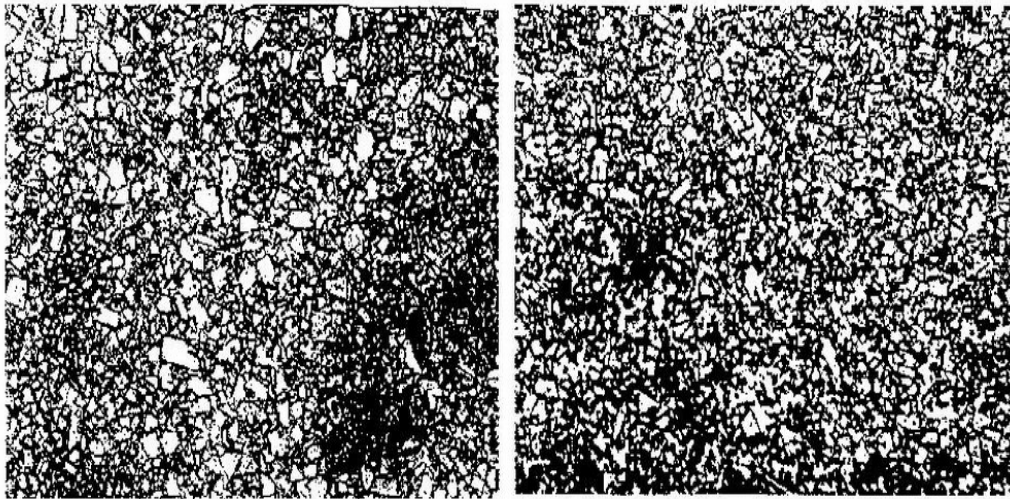
У результаті дослідження регенерованих порошків методом мікрорентгеноспектрального аналізу виявлено присутність вольфраму і кобальту в усіх порошкових частинках. Під час дослідження порошків методом електронної ОЖЕ-спектроскопії виявлено присутність домішок кисню і заліза в поверхневому шарі, причому хімічний аналіз масової частки кисню показав 0,2-0,3%, а заліза 0,16-0,2%, ($Fe \leq 0,2\%$).

Технологія отримання виробів із цих порошків полягає у формуванні, пресуванні та 2-х стадійному спіканні за деякого коригування температурно-часових режимів.

Результати дослідження фізико-механічних властивостей і структури зразків, отриманих методом регенерації відходів твердих сплавів, засвідчили, що порошки і спечені вироби відповідають вимогам ДСТУ на стандартні твердосплавні суміші та вироби (табл. 1.4 і рис. 1.11). Зломи зразків представлені на (рис. 1.12)

Таблиця 1.4 - Властивості регенованого порошку

Марка сплава	Склад, %		Середн. Розмір часток, мкм	Масова доля кисню, %	Границя міцності при згині, Н/мм ²	Густина $\times 10^3$, кг/м ³	Твердість, HRA
	WC	Co					
ВК6	94	6	1,5	0,2	1500-1800	14,8	88,5-90
ВК8	92	8	1,8	0,25	1600-2000	14,7	88-89
ВК20	80	20	2,2	0,3	2000-2100	13,5	84-85



а

б

а - традиційний метод виробництва; б - метод переробки відходів;

Рисунок 1.11 Мікроструктура спечених зразків

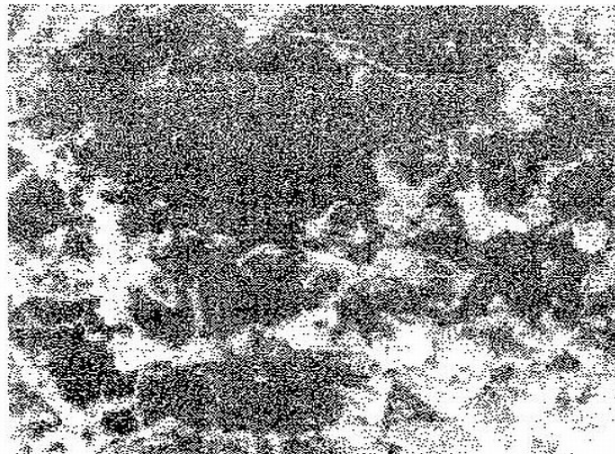


Рисунок 1.12 - Злам зразка після випробувань на згин, $\times 5000$

Проведені випробування різних видів інструментів на підприємствах України показали таке:

Стійкість матриць для висаджування болтів, гайок, шурупів і цвяхів становила 100-110% первинної стійкості інструментів із твердого сплаву ВК20;

Стійкість волочильного інструменту з твердого сплаву ВК6 склала 90% первинної стійкості;

Порівняльні випробування під час точіння жароміцного сплаву EI-435 показали стійкість ріжучих пластин із регенованого твердого сплаву BK8 приблизно 75% від стійкості стандартних пластин.

Переваги цієї технології, порівняно з наявними технологіями перероблення відходів твердих сплавів, полягають в економії енергоносіїв (чистого водню до 500 м³ на 1т) і дефіцитного матеріалу селітри (до 200 кг на 1т); порівняно зі стандартною технологією виробництва (без перероблення відходів) - в економії вольфраму, до 600 кг і кобальту до 50 кг на одну тонну.

2 МЕТОДИКА І МАТЕРІАЛИ

2.1 Характеристика вихідних матеріалів

В даній роботі були використані наступні матеріали, які взяті на дослідження якості мікроструктури твердого сплаву, а саме партія порошку з відходів твердого сплаву відпрацьованого інструменту, виготовленого зі сплаву ВК10-ХОМ, а також попередньо спечених штапиках $5 \times 5 \times 35$ мм (у шліфованому вигляді) по 12 штук, дві партії.

Дослідження проводили в лабораторії УГМет.

Для дослідження маємо партію порошку з відходів твердого сплаву, в якій визначено дисперсність порошку і вміст кисню. Розмір частинок порошку за даними електронної мікроскопії не перевищує $0,05 - 0,06$ мкм, в деяких рідких випадках до 10 мкм. Дисперсність порошку визначалась за допомогою оптичного мікроскопу, отримані дані занесли в табл. 2.1

Таблиця 2.1 - Основні характеристики порошку

Розмір частинок, мкм			Масова доля кисню, %	Маса порошку, г
Мінімальні	Основна маса	Максимальні		
$\geq 0,05$	$0,05 \dots 0,063$	10 Одиничні 20, 30	0,31	100

Вхідний контроль хімічного складу порошку з відходів твердого сплаву ВК10-ХОМ також проводили в лабораторії хімічного аналізу УГМет.

Результати наведено в табл. 2.2

Таблиця 2.2 - Хімічний склад порошку

Матеріал	Хімічний склад порошку, %				Прим. O ₂ ,%
	C _O	Fe	C _{заг}	C _{вільн}	
BK10-ХОМ	9,5	0,06	5,2	0,09	0,31
ТУ 49-19-60-78	9,5...10,5	до 0,5	до 5,4	до 0,25	до 0,8

Хімічний склад порошку з відходів твердого сплаву BK10-ХОМ повністю відповідає вимогам ТУ 49-19-60-78.

Підготовка досліджуваної сировини та наступні технологічні операції замішування суміші з пластифікатором (каучук), сушіння суміші, пресування здійснювалась згідно з існуючим технологічним процесом інструментального цеху описаним нижче.

2.2 Підготовки сировини із відходів твердого сплаву.

Підготовка сировини із відходів твердого сплаву, здійснювалась у наступні послідовності, а саме, перш за все це очищення сировини твердого сплаву від забруднення та домішок, та наступне – розмелювання очищеної сировини.

Очищення твердого сплаву [8].

Очищення поверхні твердого сплаву від забруднень (олій, чорноти, оксидів) проводиться травленням у 20% розчині азотної кислоти з подальшим промиванням у воді, потім у 30% розчині кальцилірової соди, далі у воді з подальшим сушінням гарячим повітрям.

Очищення твердого сплаву (пластин) від припоїв:

а) Розчинення залишків припоїв проводиться в 30% розчині азотної кислоти.

б) Розчинення залишків припоїв у насиченому розчині хлорного Fe/

в) Промивання у воді (інтенсивне) з метою видалення продуктів травлення, сушіння.

Розмелювання відходів.

Розмелювання за допомогою повітрострумного млина.

Повітроструминний млин призначений для тонкого подрібнення різних матеріалів із широким діапазоном твердості та щільності [9].

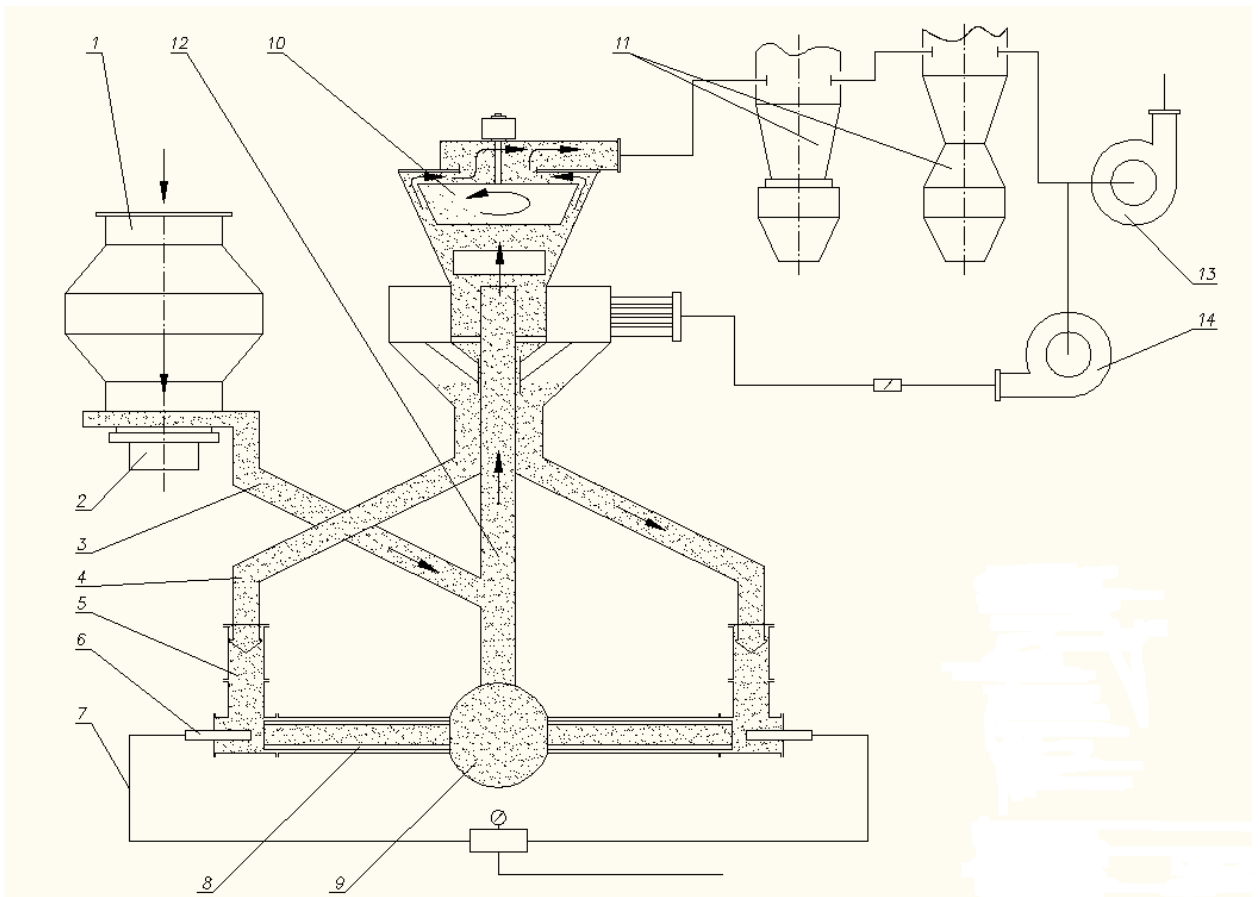
У даній роботі застосовується для розмелювання подрібненого порошку з переробленого інструменту сплаву ВК10-ХОМ.

Повітроструминний млин - пневматичний апарат безперервної дії, в якому подрібнюваний матеріал руйнується під час удару об перешкоду або зіткнення двох потоків матеріалу, прискореного струменями стисненого повітря. Ступінь подрібнення в широких межах змінюється класифікатором, який у замкнутому циклі відокремлює великі частки і повертає їх на повторне подрібнення. Матеріал транспортується по трактах млина за допомогою стисненого повітря, а готовий продукт осідає в циклонах. Відсутність помольних тіл забезпечує мінімальне забруднення продукту, а створювана в трактах млина розрядженість запобігає пиловиділенню.

Технічна характеристика млина

- Тип енергоносія - повітря, азот;
- Тиск енергоносія, МПа - 0,5 ... 70;
- Витрата енергоносія, м³/год - 600 ... 1200;
- Розмір частинок матеріалу, що завантажуються, мм - до 3,0;
- Встановлена потужність (без компресора), кВт - 8;
- Габарит, мм - 5400×3700×4960
- Маса, кг - 2700

Основні вузли та елементи воздухоповітряного млина вказані на принциповій схемі млина (рис.2.1)



- 1 - Бункер; 2 - Віброживильник; 3 - Зсипна тічка; 4 - Змішувальні камери;
 5 - Транспортувальні труби; 6 - Сопло; 7 - Трубопровід; 8 - Розгінні труби;
 9 - Помольна камера; 10 - Класифікатор; 11 - Циклон; 12 - Центральний
 стояк; 13, 14 - Вентилятори

Рисунок 2.1 - Принципова схема млина

Енергоносій (повітря, азот) трубопроводами 7 подається в змішувальні камери 5. Струмені газу, що виходять з великою швидкістю з сопел 6, ежектують подрібнюваний матеріал, прискорюють його в розгінних трубках 8 і викидають у помольну камеру 9. Під час зіткнення частинок матеріал руйнується і по стояку 12 надходить на розділення в класифікатор 10. Великі частинки порошку класифікатором відкидаються до стінок і трубами 4 надходять у змішувальні камери на повторне подрібнення. Дрібні фракції несуться в циклони 11, де осідають, а відпрацьований енергоносій вентилятором 13 через рукавний фільтр викидається в атмосферу.

Безперервна подача матеріалу, що подрібнюється, з бункера 1 здійснюється віброживильником 2 по тічці 3.

Крупність продукту регулюється зміною частоти обертання ротора класифікатора, а також подачею оборотного повітря вентилятором 14. За рахунок роботи вентиляторів у всіх трактах повітроструминного млина створюється розрядження.

Помольна камера млина обладнана знімною плитою для організації руйнування ударом об перешкоду.

Необхідний тиск енергоносія визначається міцністю подрібнюваного матеріалу. Азот рекомендується використовувати для зниження окиснення продукту, У цьому випадку доцільна організація роботи із замкнутим циклом: азот після фільтрації направляється назад на вхід компресора.

Просіювання. Порошки поділяють на фракції за величиною частинок з використанням вібросит. Поділ відбувається також за допомогою повітряних сепараторів і седиментації (поділ рідких сумішей).

Змішування карбідів. Приготування однорідної за обсягом механічної суміші здійснюється шляхом змішування порошків у спеціальних змішувачах. Це є однією з основних операцій у виробництві спечених твердих сплавів. Від умов виконання цієї операції значною мірою залежать властивості виробів.

Мокрий розмел. В умовах мокрого розмелювання відбувається не тільки руйнування конгломератів, а й подрібнення зерен карбіду та їх змішування зі сполучними металами. Це досягається не стільки ударною, скільки стираючою дією куль під час їхнього руху всередині обертового барабана-млинаря.

Велике значення в процесі розмелювання мають також інтенсивність і тривалість розмелювання суміші, її співвідношення з рідиною і кулями, розмір куль.

Випарювання ацетону. Для видалення ацетону із суміші використовується вакуумний випарювач. Вакуумне випарювання необхідне для запобігання окисленню суміші.

Температура нагріву 70-800°C, тривалість процесу 8-16 год. за об'єму випарювача 10л.

Перше просіювання. Для поліпшення процесу перемішування порошку і пластифікатора та видалення сторонніх домішок висушена і охолоджена суміш просіюється на віброситах.

2.3 Технологія отримання виробів із відходів твердих сплавів

В даній роботі отримання виробів з вже очищеної та подрібненої готової суміші порошку твердого сплаву ВК-10ХОМ здійснювали за наступною технологією:

Приготування пластифікатора. Процес полягає в отриманні однорідного розчину пластифікатора, що застосовується для приготування твердосплавних сумішей перед пресуванням. Пластифікатор застосовується з метою підвищення пластичності спресованих виробів і поліпшення спресованості сумішей [10].

Каучук синтетичний у необхідній кількості промивається від тальку, розм'якшується в гарячій воді протягом доби, подрібнюється і потім засипається в реактор якірної мішалки, туди ж заливається авіаційний бензин типу Б-70. У реакторі ведеться безперервне перемішування до повного розчинення каучуку (8-10 год.). Потім розчин фільтрують через тампон із двох шарів марлі та вати. Розчин синтетичного каучуку має бути 7,5-8,5%. Зольність розчину не повинна перевищувати 0,04%.

Замішування з пластифікатором. Порція суміші зважується на вагах і засипається в змішувач. Розчин СК у бензині потрібної концентрації

подається в змішувач тонкою цівкою (з розрахунку 3,5-4 л розчину на 100 нл суміші).

Випарювання бензину. Приготована суміш вивантажується на деко з нержавіючої сталі і поміщається в сушильну шафу. Випарювання бензину проводять у сушильних шафах, за температури 120°C протягом 3-4 год за періодичного перемішування сумішей (кожні 20-30 хв.).

Друге просіювання. Для поліпшення процесу пресування і видалення сторонніх домішок висушена й охолоджена суміш просіюється на віброситах із застосуванням сітки №035-045.

Контроль твердосплавної суміші. Після розмелювання і перемішування контроль твердосплавного порошку здійснюється за допомогою хімічного аналізу, а до операції просіювання - методом контрольних зразків. З кожної партії порошку пресується по 5-10 штук контрольних зразків розмірами 5х5х35 мм, спікаються і перевіряють їхні фізико-механічні властивості.

Пресування виробів із твердосплавного порошку. Пресування виробів із твердосплавного порошку проводиться у роз'ємних прес-формах на прес-автоматах. Для досягнення рівномірної щільності заготовки за обсягом застосовується метод двостороннього пресування. Тиск, за якого пресуванням отримують заготовки з сумішей для виробництва твердих сплавів, зазвичай 5000-15000 МПа і залежить від кількості та якості введеного в суміш пластифікатора. В даній роботі розрахунок наважки під час пресування виробів із твердосплавного порошку проводимо за формулою:

$$P = 1,02 \cdot V \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де P – маса наважки, кг;

V – об'єм виробу в спеченому вигляді, м³;

ρ – густина

Коефіцієнт 1,02 компенсує втрати маси під час спікання (за рахунок вигорання каучуку).

Сушіння виробів проводиться в сушильній шафі за температури 120-140°C. Час сушіння від 2-10 год. залежно від розмірів і маси виробу.

Спікання проводиться у вуглецевих печах. Спікання виробів зі сплаву типу ВК проводять за температури 1380-1400°C з витримкою 20-30 хв. Тривалість операції спікання 6-8 год. залежно від кількості виробів [11].

Спікання порошків проводили в печі "Таммана" і в лабораторній печі МП-2УМ у середовищі вуглецю за двома режимами, зазначеними в таблицях 2.3, 2.4.

Таблиця 2.3 - Режими спікання штапиков твердого сплава ВК10-ХОМ – партія 1

Температура спікання, °C	Витрати вуглецю, л/год	Швидкість
1380±10	500+50	35 хв. витримка/лодочка
1400±10	500+50	35 хв. витримка/лодочка

В якості засипки використовували корракс із 2% вмістом графітової крупки.

Таблиця 2.4 - Режими спікання штапиков твердого сплава ВК10-ХОМ – партія 2

Температура спікання, °C	Витрати вуглецю, л/год	Швидкість
1380+10	600+50	60 хв. витримка/лодочка
1400+10	600+50	60 хв. витримка/лодочка

В якості засипки використовували корракс із 2,5% вмістом графітової крупки. Крім того, човники покривалися графітовими кришечками.

2.4 Методика дослідження та випробувань виробів із переробленого відпрацьованого інструменту.

Фізико-механічні властивості твердого сплаву ВК10-ХОМ проводилися в лабораторних умовах, на попередньо спечених штапиках 5x5x35 мм (у шліфованому вигляді) по 12 штук, дві партії.

2.4.1 Випробування границі міцності на згин

Випробування границі міцності при згині проводилися в лабораторії на розривній машині «УММ 10Т», що призначена для статичних випробувань металевих та інших зразків на розтяг, стиснення та згин. Максимальне навантаження 10т. В даній роботі методика випробування границі міцності на згин проводилась згідно Державного стандарту України - ДСТУ ISO 7438:2005 [12]



Рисунок 2.2 – Гідравлічна універсальна випробувальна машина «УММ 10Т»

Сутність методу. Випробовування на згинання полягає в тому, що зразок круглого, квадратного, прямокутного або багатокутного поперечного перерізу піддається пластичній деформації згинанням без зміни напрямку прикладення зусилля до досягнення заданого кута згину.

Осі обох кінців зразка залишаються в площині, перпендикулярній до осі згину. У разі згинання на 180° обидві бокові поверхні можуть залежно від вимог стандарту на матеріал, лежати одна на іншій або паралельно на заданій відстані. Для контролю цієї відстані застосовують вставку.

Підготовка зразка на випробування.

В даній роботі під час випробування, застосовували зразки прямокутного поперечного перерізу. Грані та всі сторони зразка перевірені на відсутність дефектів, забоїв, вм'ятин, та слідів, що можуть лишатися при попередньої механічної обробки. Також всі кромки зразка були закруглені.

Для отримання більш точних значень границі міцності на згин випробування проводили за кімнатної температури. Допускається проводити випробування за температури $23 \pm 5^\circ\text{C}$.

Під час випробування на згинання, до заданого кута згинання, зразок встановлювали на циліндричні опори і згинали з прикладанням зусилля, що безперервно збільшується, посередині між опорами. Згинальне зусилля прикладається поступово для вільної пластичної деформації матеріалу.

2.4.2 Випробування на твердість

В даній роботі випробування на твердість проводилися на стаціонарному твердомірі Роквелла «Мікротех» типу HRA-1, згідно Державного стандарту України ДСТУ ISO 6508-1:2013 [13].

Твердість за Роквеллом – твердість, що визначається різницею між умовною максимальною глибиною проникнення індентора (алмазний конус)

і залишковою глибиною його впровадження є під дією основного навантаження P_1 , після зняття цього навантаження, але при збереженні попереднього навантаження P_0 .



Рисунок 2.3 - Стационарний твердомір Роквелла «Мікротех» типу HRA-1

Як вже зазначалося, при вимірюванні твердості за Роквеллом як індентор використовують алмазний конус з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення 0,2 мм, або сталеву кульку діаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма), які вдавлюються в зразок під дією двох навантажень, що послідовно додаються: попереднє P_0 і загальне $P = P_0 + P_1$, де P_1 – основне навантаження[14].

Число твердості за Роквеллом вимірюють в умовних одиницях, воно є мірою глибини втискування індентора під певним навантаженням.

Схема визначення твердості за Роквеллом при втискуванні алмазного конуса приведена на рисунку 2.4. Спочатку індентор вдавлюється в поверхню зразка під попереднім навантаженням $P_0 = 100\text{Н}$, яке не знімається до кінця випробування. Це забезпечує підвищену точність випробування, оскільки виключає вплив вібрацій і тонкого поверхневого шару. Під навантаженням P_0 індентор занурюється в зразок на глибину h_0 . Потім на зразок подається повне навантаження $P = P_0 + P_1$ і збільшується глибина втискування. Остання після зняття основного навантаження P_1 (коли на індентор знов діє тільки попереднє навантаження P_0) визначає число твердості за Роквеллом (HR). Чим більше глибина втискування h , тим менше число твердості HR.

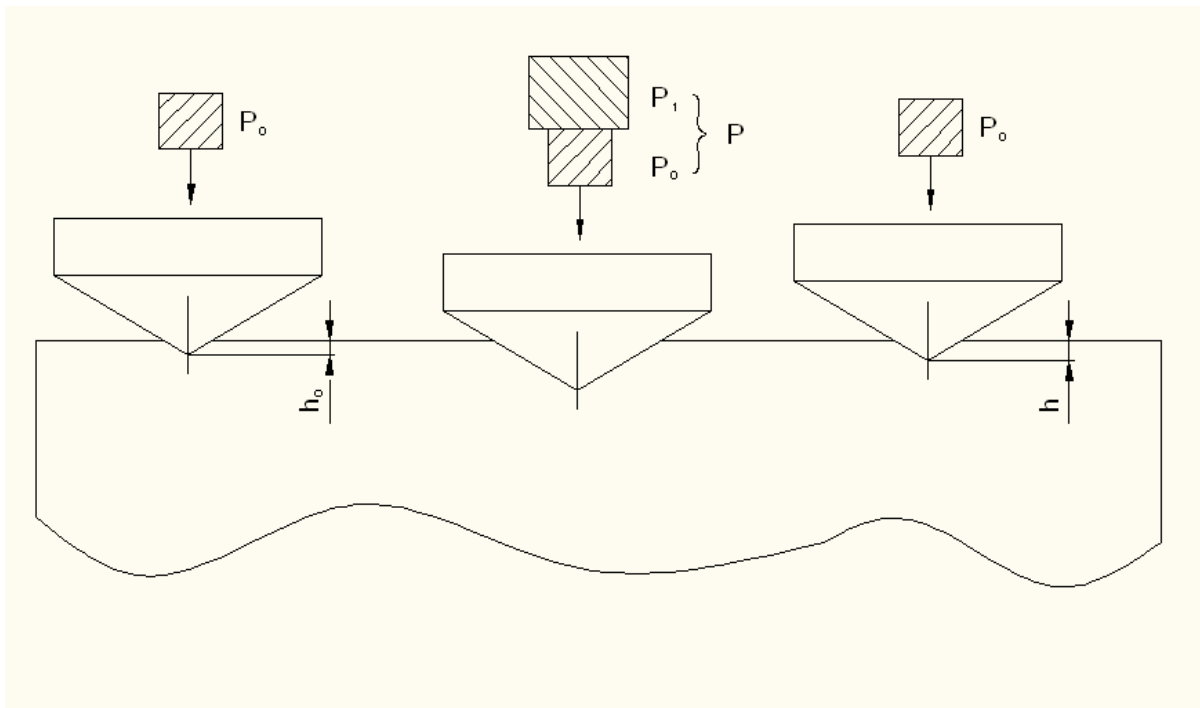


Рисунок 2.4 - Схема вимірювання твердості за Роквеллом

Тут P_1 – основне навантаження; P_0 – попереднє навантаження; P – загальне навантаження; h – глибина проникнення індентора під дією основного навантаження; h_0 – глибина проникнення індентора під дією попереднього навантаження.

До проведення випробування висуваються наступні вимоги:

- випробування проводять при температурі 20 °С;
- під час випробування пристрій повинен бути захищеним від ударів та вібрацій;
- опорні поверхні робочого столика – підставки та зразка повинні бути очищеними від сторонніх речовин. Зразок повинен лежати на підставці стійко, без зміщення та прогину під час випробування;
- перші три вимірювання після зміни наконечника, робочого столика або підставки є пробними і не записуються в протокол випробування;
- границя вимірювання твердості за шкалою С: 20-67 одиниць;
- при вимірюванні твердості повинні бути дотримані наступні умови:
 - перпендикулярність навантаження, що діє, до випробуваної поверхні зразка виробу;
 - плавне прикладання попереднього навантаження P_0 ;
 - плавне прикладання протягом 2-8 с основного навантаження до максимального значення;
 - плавне зняття через 2 с основного навантаження після різкого уповільнення руху стрілки індикатора;
- відлік результатів вимірювання твердості за шкалою індикатора з їх округленням до 0,5 ділення шкали проводять при дії попереднього навантаження P_0 що впроваджується;
- відстань між центрами двох сусідніх відбитків або від центру відбитку до краю зразка повинно складати не менше 3 мм, якщо в нормативно-технічній документації не встановлені інші вимоги;
- кількість відбитків при визначенні твердості за Роквелом вказують в нормативно-технічній документації.

2.4.3 Вимірювання густини

В даній роботі густину вимірювали в лабораторних умовах за допомогою запрограмованих аналітичних ваг на підставі результатів вимірювання маси тіла в повітрі та в рідині з відомою густиною гідростатичним методом.

Гідростатичний метод визначення густини у твердих зразках описаний у ДСТУ ISO 3312:2014 "Сплави тверді спечені", він забезпечує найбільш точне вимірювання густини.

Для визначення густини застосовуються рідини, що добре змочують матеріали, які не повинні розчиняти і просочувати зразок або вступати з ним у реакцію, а також не повинні випаровуватися під час визначення (наприклад, етиловий спирт, ацетон та інші).

Як рідину для зважування ми застосовуємо дистильовану воду.



Рисунок 2.5 - Аналітичні ваги для вимірювання густини гідростатичним методом

Гідростатичний метод визначення густини матеріалу полягає у зважуванні зразка в повітрі, а потім у воді й обчисленні його густини. Метод призначений для визначення густини формованих виробів (стрижні, бруски, трубки, тверді спечені сплави, штапики і пластини металевого вольфраму і молібдену).

Під час зважування температура випробовуваного зразка, рідини та навколишнього повітря має бути однаковою. Температуру дистильованої води, в яку поміщаємо зразок, підтримуємо постійною, або, якщо це неможливо, вимірюємо температуру до і після кожного зважування, беручи до розрахунку середнє з отриманих значень.

Значення густини дистильованої води залежно від температури повітря наводяться в нормативних документах на випробуваний матеріал.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Дослідження впливу режимів спікання порошків із відпрацьованого інструменту на властивості отримуваних твердих сплавів

Після спікання порошків отриманих із відпрацьованого інструменту твердого сплава ВК10-ХОМ, в штапики 5х5х35 мм (у шліфованому вигляді) в лабораторії УГМет були проведені дослідження цих зразків.

Досліджувані зразки у кількості 12 шт. склались із двох партії у кількості по 6 шт., які були виготовлені за відмінними один від одного режимами та умовами спікання. Перша партія спікалась за двома режимами та за наступних умов – спікання при температурі 1380°C у водневому середовищі з витратою водню 500 л/год, швидкість просування лодочок в печі (витримка) складала 35хв., як засипку використовували корракс з 2% вмісту графітової крупки. Також спікання при температурі 1400°C у водневому середовищі з витратою водню 500 л/год, швидкість просування лодочок в печі (витримка) складала 35хв., як засипку використовували корракс з 2% вмісту графітової крупки. Друга партія спікалась також за двома режимами та за наступних умов – спікання при температурі 1380⁺¹⁰ °C у водневому середовищі з витратою водню 600 л/год, швидкість просування лодочок в печі (витримка) складала 60хв., як засипку використовували корракс з 2,5% вмісту графітової крупки. Також спікання при температурі 1400⁺¹⁰ °C у водневому середовищі з витратою водню 600 л/год, швидкість просування лодочок в печі (витримка) складала 60хв., як засипку використовували корракс з 2% вмісту графітової крупки.

Металографічне дослідження отриманих зразків проводилось згідно вимог, за наступними параметрами: ступінь пористості В0,2%, вільний вуглець не більш 0,2%, знеуглецювання – озеркова та кружевна форма η-фази (подвійного карбиду вольфраму і кобальту) – не допускається.

В ході дослідження виявлено, що основні характеристики та хімічний склад порошка виготовленого із відходів твердого сплаву типу ВК10-ХОМ відповідають технічним умовам ТУ 49-19-60-78, але де які параметри, такі як границя міцності на згин, не досягають необхідних значень (партія 1).

Результати фізико-механічних властивостей після випробувань і контролю мікроструктури наведено в таблиці 3.1, 3.2

Таблиця 3.1- Фізико-механічні властивості та контроль мікроструктури – партія 1

Темп. спікання, °С	Границя міцності при згині, кг/мм ²	Твердість, HRA	Густина г/см ³	контроль мікроструктури		
				Ступінь пористості	Вільний вуглець	Знеуглецювання
1380±10	137,6	90	14,3±0,1	В 0,04 Д 0,4	-	η – фаза круж. і озерк. форми
1400±10	162,5	91	14,5±0,1	А 0,02 В 0,04	-	η – фаза круж. і озерк. форми

Таблиця 3.2 - Фізико-механічні властивості та контроль мікроструктури – партія 2

Темп. спікання, °С	Границя міцності при згині, кг/мм ²	Твердість, HRA	Густина г/см ³	контроль мікроструктури		
				Ступінь пористості	Вільний вуглець	Знеуглецювання
1380±10	201,1	91	14,3±0,1	А 0,02	-	-
1400±10	205,9	91	14,5±0,1	А 0,02	-	-

За результатами механічних випробувань проведених у лабораторії УГМет видно, що є невідповідності фізико-механічних властивостей отриманого сплаву (партія - 1) з нормативною документацією, а саме:

Границя міцності при згині для сплаву ВК10-ХОМ згідно з ГОСТ20019 ≥ 150 кг/мм²;

Густина сплаву ВК10-ХОМ згідно з ГОСТ20018 14,3 - 14,7 г/см³;

Твердість сплаву ВК10-ХОМ згідно з ГОСТ20017 ≥ 89 HRA;

Пористість сплаву ВК10-ХОМ згідно з ГОСТ4872 $\leq 0,2\%$;

На основі отриманих даних після дослідження побудуємо стовбчатую діаграму фізико-механічних властивостей досліджуемого твердого сплаву ВК10-ХОМ.

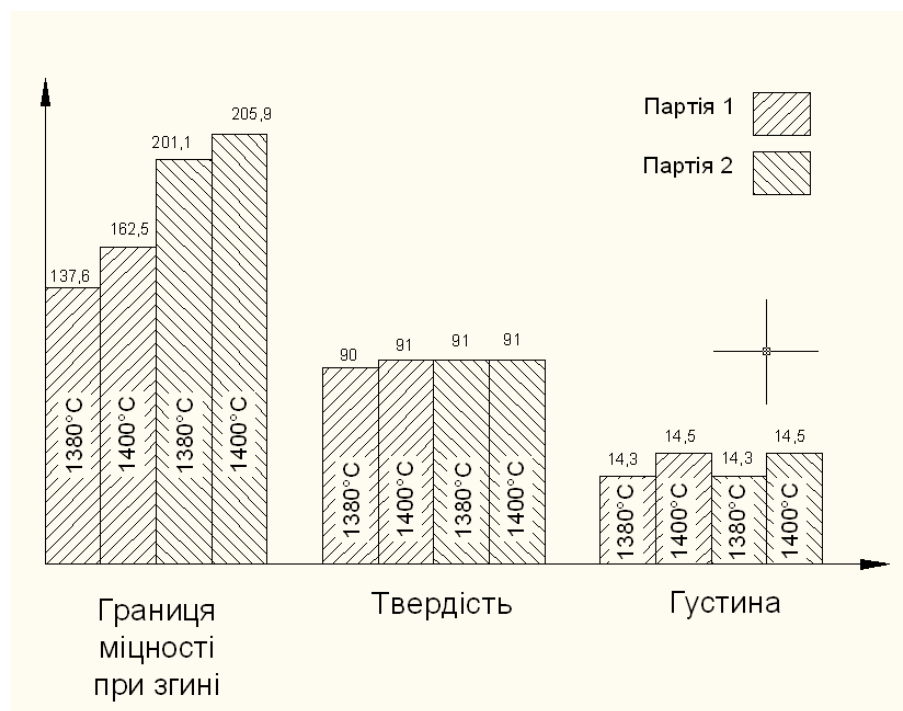


Рисунок 3.1 - Стовбчатая діаграма фізико-механічних властивостей досліджуемого твердого сплаву ВК10-ХОМ

В ході металографічних дослідження на одному із отриманих зразків, в першій партії виявили наявність сторонніх включень, що скоріш за все обумовлено не досить якісною очисткою при переробці відпрацьованого

інструменту, або попадання сторонніх включень при наступній переробки порошку.

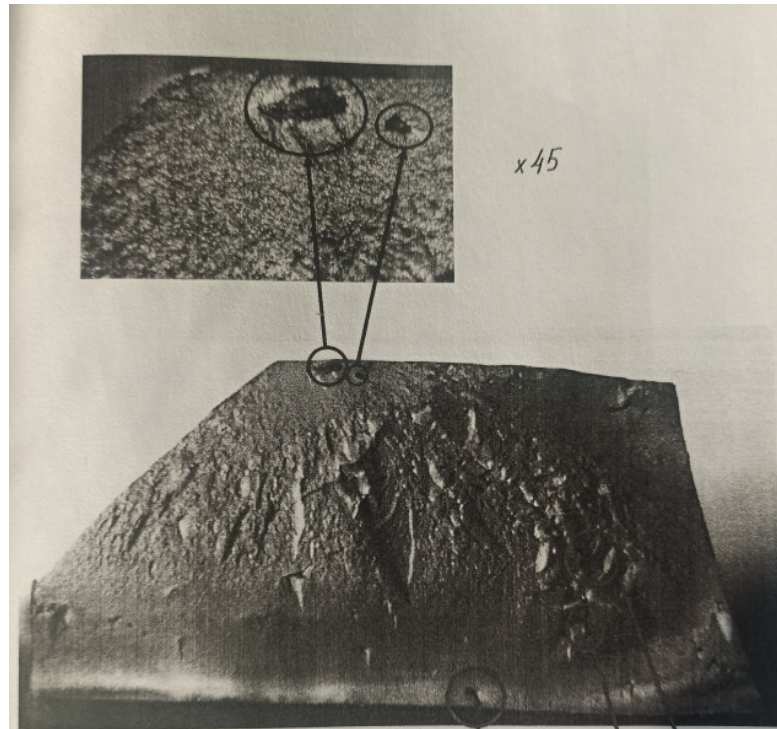


Рисунок 3.2 - Сторонні включення в структурі твердого сплаву ВК10-ХОМ

Також при дослідженні зразків в першій партії, на де яких зразках було виявлено наявність включень озеркової та кружевної форма η -фази (подвійного карбіду вольфраму і кобальту).

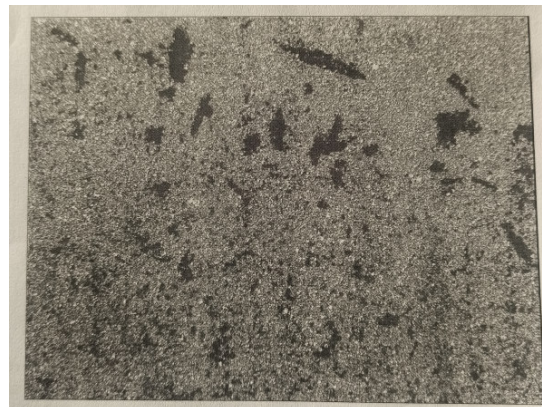


Рисунок 3.3 - Озеркова та кружевна форма η -фази (подвійного карбіду вольфраму і кобальту) (партія 1) $\times 200$

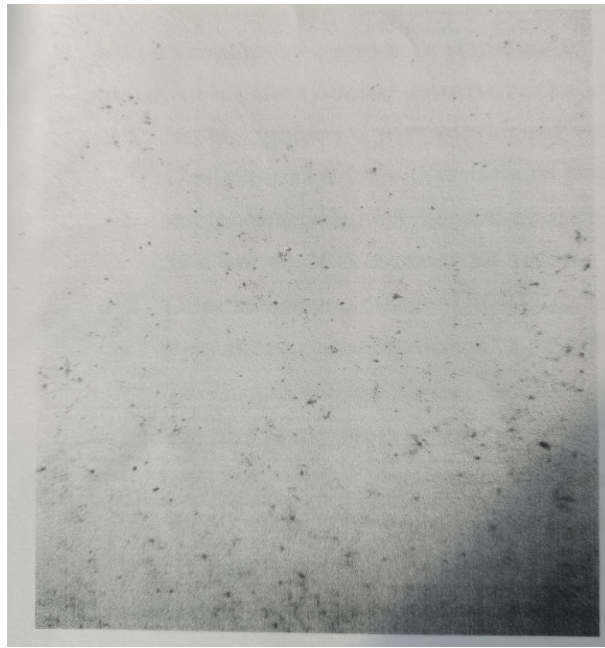


Рисунок 3.4 - Відсутність озеркової та кружевної форми η -фази (подвійного карбіду вольфраму і кобальту) (партія 2) $\times 200$

3.2 Рекомендації що до режимів та умов спікання порошків із відпрацьованого інструменту.

Відповідно до технічних вимог ДСТУ ISO 513:2015 присутність у структурі включень η -фази (подвійного карбіду вольфраму і кобальту мереживної та озеркової форми) не допускається.

Спечені штабики із суміші ВК10-ХОМ за температури 1380 ± 10 °C (партія 1) не відповідають технічним вимогам ДСТУ ISO 513:2015 за міцністю під час згину і за присутністю в структурі включень η -фази (подвійного карбіду вольфраму і кобальту мереживної та озеркової форми).

Спечені штабики із суміші ВК10-ХОМ при температурі 1400 ± 10 °C не відповідають технічним вимогам за присутністю в структурі включень η -фази (подвійного карбіду вольфраму і кобальту мереживної та озеркової форми).

Слід зазначити, що низька границя міцності під час вигину твердого сплаву спричинена присутністю крихкої η -фази - включення подвійного карбіду вольфраму і кобальту - знеуглецювання озеркової форми. Поява в сплавах η -фази веде до зменшення вмісту кобальтової фази, що здебільшого й зумовлює зниження всіх характеристик міцності та підвищення твердості.

Під час дослідження спечених штабиків із суміші ВК10-ХОМ (партія - 1) вміст вуглецю коливався в межах від 0,6% до знеуглецювання озеркової форми, що, імовірно, пов'язано з нерівномірністю розподілу графітової крупки в кораксі.

Для запобігання наявності сторонніх включень в структурі отримуюмого твердого сплаву з відпрацьованого інструменту, слід звернути увагу на більш вдосконалі методи очистки вхідного матеріалу а тако ж більш якісне сортування відходів за маркою сплаву. Також в процесі обробки отриманого порошку слід більш ретельно підходити до вибору технології обробки, наприклад, використання повітряноструменевого млина, що описан та запропонован в данній роботі, забезпечує мінімальне забруднення продукту, за рахунок відсутності помольних тіл. На відміну від інших типів млинів, де використовуються тіла для розмолу, при контакті з якими частки твердого сплаву можуть приєднювати до себе частинки матеріалу, з якого зроблені тіла для розмолу.

З метою відновлення знеуглецювання і науглецювання, допускається повторне спікання з коригуванням засипки за вмістом графітової крупки.

Отже, за результатами дослідження найприйнятніші результати за фізико-механічними властивостями на зразках (партія 2) з твердосплавної суміші ВК10-ХОМ отримано за таких режимів спікання:

- Температура спікання - 1400 °С;
- Витрата водоводу - 600 л/год;
- Витримка в робочій зоні - 60 хвилин/лодочка;
- Вміст графітової крупки в кораксі - 2,5%;

Після дослідження впливу режимів спікання порошків із відпрацьованого інструменту на властивості отримуваних твердих сплавів можна зробити наступний висновок:

Якість порошку з відходів твердого сплаву відпрацьованого інструменту, виготовленого зі сплаву ВК10-ХОМ, за хімічним і гранулометричним складом відповідає технічним вимогам ТУ48-19-60-78.

Спечені штабики із суміші ВК10-ХОМ із відходів твердого сплаву відпрацьованого інструменту за перевіреними параметрами відповідають технічним вимогам ДСТУ ISO 513:2015. Більш високі фізико-математичні властивості досягаються за другим режимом спікання (табл. 3.2) і відповідають технічним вимогам ТУ48-19-60-78.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні хімічного складу та структури отриманого виробу з переробленого відпрацьованого інструменту.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Администативные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания» [15], нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

в) небезпеки які пов'язані з можливістю ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

г) небезпеки які пов'язані з можливістю отримання механічних травм при виготовленні дослідницьких зразків методом пресування, та подальшої

обробки для дослідження. Наявність в робочій зоні таких фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів як машини та механізми, вироби, заготовки та матеріали, що обертаються та переміщуються, при недостатній професійній підготовці фахівців, обумовлену недоліком знань технологічної та експлуатаційної документації, можуть призвести до аварійних ситуацій та травм різного ступеню важкості або летального наслідку. Також присутні такі фактори, як недосконалість конструктивних рішень кріплення штампів на технологічному обладнанні, зокрема, ненадійність кріплення штампів та їх вузлів до пресу; недосконалість конструкцій штампів, зокрема, відсутність зазорів безпеки між рухомими та нерухомими частинами штампів; відсутність технологічних отворів або інших конструктивних елементів для безпечного розміщення заготовок у штампі та безпечного вилучення деталей із них; відсутність атестації штампів та їх маркування за ступенем безпеки; відсутність надійних огорожень зони деформування; відсутність захисних пристроїв запобігання аварійних ситуацій; порушення правил з охорони праці при виконанні операцій формозмінювання; можливість отримання механічних травм внаслідок гострих кромek, заусенців на отриманих деталях або розсипання стосу заготовок.;

Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом (НПАОП 28.0-1.30-12) зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм [15].

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури зразків методом електронної та оптичної мікроскопії з використанням електронних та оптичних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) небезпеки які виникають в наслідок невідповідності вимогам ДБН В.2.5-28-2006 [17] «Природне і штучне освітлення» освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) небезпеки які виникають в наслідок незадовільних параметрів мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [18] «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

з) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, які зазначені в НАПБ А.01.001-2014 [19] «Правила пожежної безпеки в Україні», а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

и) небезпеки які пов'язані з виконанням певних дій в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема при пожежах.

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина – забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина – 800...1000мм). Робочий стіл повинен мати простір

для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) при роботі з ПК світлотехнічна специфіка обумовлена світлотехнічною різномірністю об'єктів зорової роботи користувача ПК: екрана, документації і клавіатури, розташованих у різних зонах спостереження, що вимагає багаторазового переміщення лінії зору від одного об'єкта до іншого [20].

Об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блимання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову) [21]. Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК

викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

в) Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 [22] «Правила безпечної експлуатації електроустановок» для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;

- видати наряд або розпорядження;

- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;

- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;

- забезпечити нагляд при виконанні робіт;

- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;

- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;

- електричний розподіл мережі;

- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустановки, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;

- використання малих напруг;

- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;

- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;

- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;

- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпеки), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;
- захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпеки, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

г) Згідно аналізу потенційних небезпек найбільш ефективними заходами попередження механічних травм при використанні пристосувань для пресування є: Згідно ДСТУ 13121:2008 «Штапи для листові штапівки» кріплення штапів до пресу можливе за допомогою болтів, прихватних плит або хвостовиків. Кріплення повинно бути надійним. Кількість елементів для кріплення визначається масою штапу та зусиллям при його роботі. При кріпленні верхньої частини штапу через хвостовик, його розміри повинні відповідати отвору у повзуні пресу. Схід направляючих втулок з колонок неприпустимий. У конструкції штапів повинні бути передбачені зазори безпеки між рухомим елементом штапу та нерухомим. Величина зазорів неменше 25мм при нижньому положенні повзуна. Для безпечної подачі та видалення заготовки з штапу повинні бути передбачені технологічні отвори для зручного користування пінцетом або кліщами. При неможливості виконання цих вимог повинно бути передбачено використання захисних огорож. Функціями яких мають бути: виключення можливості потрапляння рук працюючого у небезпечну зону, виключення травмування

працюючого самою захисною огорожею. Конструкція огорожі повинна давати можливість безпечного обслуговування штампу. При неможливості використання захисних пристроїв дворучне керування пресом є обов'язковим. Для автоматичної зупинки роботи пресу у разі відхилення від нормального режиму (заклинювання пуансону, потрапляння в зону штампування сторонніх об'єктів, подвійний удар) передбачені запобіжні пристрої. До таких пристроїв належать: - обмежувачі ходу, упори, кінцеві вимикачі, гальмівні пристрої; - елементи конструкції обладнання типу «слабка ланка», зокрема, зрізні штифти, шпонки, фрікційні муфти, плавкі запобіжники; - блокуючі пристрої, які можуть бути механічними, електромеханічними, фотоелектричними; - сигналізуючі пристрої, які надають інформацію про виконання процесу або у разі прояву відхилень вказують на місце їх прояву. Такі пристрої зазвичай є частиною електричних схем ланцюгів управління обладнанням. Одними з розповсюджених випадків порушень є розміщення в матриці двох заготовок одночасно, спроба корегувати положення заготовки в матриці під час опускання пуансону, штучне блокування запобіжних пристроїв. Попереджувальними заходами можуть бути постійний контроль збоку керівників та представників профспілок, стимулювання бездоганного виконання правил з охорони праці. Заходами захисту мають бути: використання індивідуальних засобів захисту:

- спеціальний одяг;
- спеціальне взуття;
- спеціальні рукавиці;
- окуляри захисні;
- щитки наголовні.

Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень

частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають. Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу.

д) Заходи безпеки при виконанні процесів дослідження. Об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами ,пофарбованими головним чином по краю поля зору . Щоб погасити всі кольори ,в яких об'єкт не має корекції ,застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра ,жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;

– прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диференційного насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диференційного насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками.

4.3 Заходи з виробничої санітарії

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249, з урахуванням виявлених, в процесі аналізу потенційних небезпек, небезпечних і шкідливих виробничих факторів [23].

Санітарний клас виробництва і розміри його санітарно-захисної зони визначаються з урахуванням наявних шкідливих виробничих факторів, згідно вимог ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів».

е) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 [24] «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;
- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с [25].

Захист від шкідливих газів, паро- та пило-виділень передбачає обладнання місцевої витяжної вентиляції для відсосу отруйних речовин

безпосередньо від місць їх утворення. Місцеві відсоси влаштовують конструктивно вбудованими та заблокованими з обладнанням так, що агрегат не можна запустити при виключеному відсосі.

- при роботі з отрутними і забруднюючими речовинами використовують спецодяг – комбінезони, халати і фартухи;
- для захисту від лугів і кислот – гумове взуття і рукавички;
- для захисту шкіри рук, обличчя та шиї застосовують захисні пасти: антитоксичні, маслостійкі та водостійкі;
- очі від можливих опіків і подразнень захищають окулярами з герметичною оправою, масками та шоломами;
- для захисту органів дихання використовують фільтруючі та ізолюючі прилади (протигази і респіратори).

ж) Виробниче освітлення організується і нормується згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

- природне (бокове або верхнє);
- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

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

з) Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу

речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» і СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания». Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки та вимогами ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції). Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи) передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу – «PERCoPU01»

влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель PERCo-PU01 1-01, блок управління і індикації PERCo-AU02 1-01 та програмне забезпечення PERCo-S-20.

Панель PERCo-PU01 1-01 системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах PERCoPU01 дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;
- видавати повідомлення про пожежу та проникненні на блоці індикації;
- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;
- передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтантні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – «PERCo-PU01» може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки PERCo-S-20 спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації і підключаються до PERCo-PU01 1-01.

4.5 Заходи безпеки в умовах НС

и) Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись і здійснюватись лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і т. д.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення

ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфозфрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з підвищеною ступеню стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на

таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерела, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напівавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини сіті.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Сіті зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки

акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогнебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогнебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготувати склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідроспоруд [26].

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг).

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Інтеграція України в європейський та світовий бізнес-простір вимагає адаптації вітчизняних реалій до правил господарювання та імплементації основоположних принципів діяльності в практику українського підприємництва.

Добрі і стійкі відносини зі стейкхолдерами є основою сталого розвитку компаній. І якщо відносини з клієнтами українські компанії навчилися цінувати вже давно, то відносини зі стейкхолдерами в ширшому розумінні не сприймаються як такі, що вимагають окремої стратегії або окремого підходу. В той час як для провідних міжнародних компаній системний підхід до взаємодії зі стейкхолдерами є загальною практикою. Адже врахування впливу інтересів стейкхолдерів при прийнятті рішень дозволяє компаніям отримати достовірну оцінку своєї діяльності та краще розуміти власні ризики й можливості.

Для забезпечення потреб машинобудування, металообробки та інших галузей, де необхідні якісні та недорогі інструменти обробки важко оброблювальних та жароміцних сплавів, а також забезпечення економії дорогих і дефіцитних твердих сплавів, що застосовуються для виготовлення інструменту, необхідно розвивати та впроваджувати нові технології переробки відпрацьованих тверді сплавів. Вони можуть забезпечити довговічність та надійність деталей машин та самого інструменту, що працюють в складних умовах експлуатації. Розробка та отримання перероблених твердих сплавів є дуже важливим завданням.

Переробка тврдосплавного скрапу є альтернативою імпорту готових сумішей та інших напівпродуктів виробництва твердих сплавів для таких країн, як Україна, які не мають власної первинної сировинної бази. Але і в країнах, що мають найбільші у світі родовища вольфрамових і кобальтових

руд, таких, як Китай, дедалі більше усвідомлюється актуальність перероблення скрапу в плані економії природних ресурсів і зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище. У розвинених індустріальних країнах ринок використання вторинної сировини вже досяг високого рівня - так, у 2020 р. у США 46 % виробленого вольфраму було отримано з вольфрамомісного скрапу. Економічна доцільність переробки скрапу пов'язана з тим, що в різних його видах міститься від 15 до 99 % W, тоді як у вольфрамових рудах зазвичай міститься 1 % WO_3 , а, крім того, скрап містить й інші цінні компоненти, зокрема, дорожчий кобальт. До теперішнього часу у світі розроблено і застосовується безліч різноманітних методів переробки вольфрамомісного скрапу та їхніх варіантів, у зв'язку з чим представляє великий практичний інтерес аналіз переваг і недоліків цих методів, обмежень щодо видів скрапу, що переробляється, та якості одержуваних регенерованих продуктів, а також поширеності методів переробки та можливості їхнього подальшого вдосконалення.

5.2 Послідовний аналіз

В даній роботі виконали аналіз напрямків застосування продукції та вигоди для споживачів (табл. 5.1). Надано цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів, основні вигоди, що може отримати користувач товару за кожним напрямком застосування. Також здійснений підбір команди, розроблено концепцію реалізації проекту та визначили перспективи ринкової реалізації проекту.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Вдосконалення якості твердого сплаву, отриманого із переро- блених відходів для виготовлення різаль- ного інструмента	1 Інструментальне ви- робництво	Підвищення стійкості та надійності інструмента
	2 Механічна обробка широкого застосування у авіа та машинобуду- ванні	Отримання високоякіс- них деталей та підви- щення ефективності процесу обробки деталей

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (наймену- вання)	Характеристика
Головні конкуренти	1. Інструментальні підприємства України 2. Інструментальні підприємства Єв- ропи
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потрібні вкладення інвестицій
Специфічні вимоги до стандарти- зації та сертифікації	1. Сертифікація обладнання 2. Вимоги до якості хімічного складу порошку

Вивчені та визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Якісний і стійкий різальний інструмент	Підприємства машинобудування України та Європи	Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; Надійність, низька пористість	Якість, зносостійкість, твердість, допустима собівартість

Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проект. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
– відомий бренд – кваліфікований персонал – Порівняно недорогі початкові матеріали. – клієнтська база	– текучість кадрів – нездатність до інновацій – повільний ріст прибутку – консерватизм системи управління
Можливості:	Загрози:
– розвиток дилерської мережі – вихід на нові сегменти ринку – підвищення кваліфікації персоналу – відхід конкурентів з ринку	– поява нових конкурентів – зростання цін на сировину – цінова конкуренція – непомірна ціна нових технологій

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору під час вибору товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод отримання виробів з твердого сплаву дає можливість за мінімальних затрат підприємства виготовляти та випускати високо якісну та дешеву для клієнта продукцію.

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Придбання нового інструменту	Зацікавлені у якості механічної обробки	10.000	Конкуренція зростає	Пов'язана з великими інвестиціями
Переробка відпрацьованого інструменту	Зацікавлені в отриманні якісного, але більш дешевого інструменту	100.000	Монополісти	Пов'язана з великими інвестиціями

Виконана ідентифікація стейкхолдерів, виконана їх пріоритизація та побудована Карта стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів. З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Kartі виокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглих ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту (рис. 5.1).

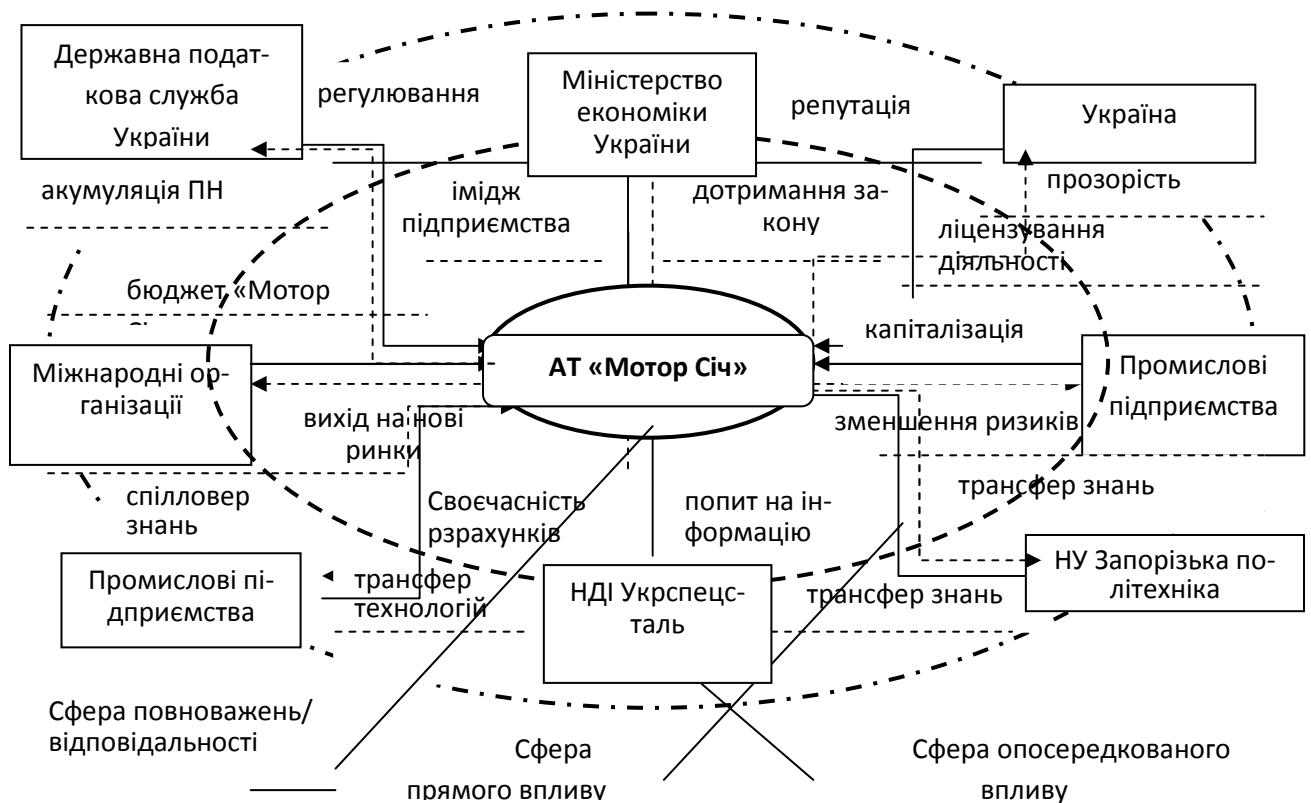


Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

Під час виконання даної роботи залучено такі трудові ресурси: науковий керівник, старший науковий співробітник, який здійснює безпосередній

контроль і приймає участь в усіх етапах дослідження, інженер дослідник відповідальний за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів, та лаборант, що приймає участь в дослідженні. До їх обов'язків входить забезпечення технічної бази дослідження, налаштування та допомога в експлуатації обладнання, попередній аналіз результатів, консультації.

Визначили витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні досліджень (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	18000	20	3600	21600	259200	57024
Старший науковий співробітник	2	15000	20	3000	18000	216000	47520
інженер дослідник	2	12000	20	2400	14400	172800	38016
Лаборант	3	10000	20	2000	12000	144000	31680
Разом	8	55000	—	11000	66000	792000	174240

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.7)

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Зразки	24	24 одиниць	700	16800
Тара зразків	—	24 одиниць	50	1200
Реактиви	—	5 одиниць	800	4000
Змінні лінзи	—	10 одиниць	3500	35000
Папір	—	10 блоків	170	1700
Ручка	—	100 одиниць	15	1500
Олівець	—	100 одиниць	10	1000
Журнал обліку	—	10 одиниць	75	750
Разом				61950

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	—	500 кВт	5,58 грн/ кВт	2970
Водопостачання	—	5 м ³	25 грн/м ³	125
Теплопостачання	—	3,42 Гкал	1380 грн/Гкал	4720
Охоронна система	—	1	1500	1500
Утилізація реактивів	5 одиниць	5	200 грн	1000
Разом				10135

Визначили річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ	Вартість обладнання	Річні амортизаційні відрахування	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Оптичний мікроскоп	2	500000	1000000	200000	20000
Електронний мікроскоп	1	1000000	1000000	200000	20000
Прилад для контролю хімічного складу сплавів	1	1500000	1500000	300000	30000
Установка для вимірювання твердості	1	100000	100000	20000	400
Комп'ютер	4	25000	100000	20000	400
Принтер	2	15000	30000	6000	120
Разом			3730000	746000	74600

Відображаємо кошторис витрат на основі даних, вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 5.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Визначаємо річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норм амортизації.

Визначаємо витрати на поточний ремонт у розмірі 2% від балансової вартості основних засобів.

Результати заносимо до табл. 5.10

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн
Фонд заробітної плати, рік	792000
ЄСВ, рік	174240
Матеріальні витрати, рік	61950
Вартість спожитих послуг, рік	121620
Амортизація обладнання, рік	746000
Поточний ремонт, рік	74600
Виробнича собівартість	2086564
Адміністративні витрати 50%	396000
Повна собівартість	3260164

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що порошок твердого сплаву ВК10-ХОМ отриманий за серійною технологією інструментального виробництва порівнювався з порошком твердого сплаву ВК10-ХОМ отриманим методом переробки відпрацьованого інструменту марки ВК10-ХОМ.

Орієнтовна ціна основних матеріалів, що використовуються для виготовлення твёрдосплавного порошку обома способами наведено в таблиці 5.11

Таблиця 5.11 – Орієнтовна ціна матеріалів для виготовлення порошку ВК10-ХОМ

Назва матеріалу	Ціна, грн/кг	Вміст %	Ціна, грн/кг	Вміст %
	ВК10-ХОМ		ВК10-ХОМ перероб.	
Вольфрам	3000	89,3	2100	89,3
Кобальт	1300	9,7	950	9,7
Хром	1000	0,5	650	0,5
Разом	5300	100%	3700	100%

Розрахункова вартість одного кілограму (C_1) промислового серійного порошку твердого сплаву ВК10-ХОМ становить: $C_1 = 5300$ гривень.

Розрахункова вартість одного кілограму (C_2) переробленого порошку з відпрацьованого інструменту сплаву ВК10-ХОМ становить: $C_2 = 3700$ гривень.

Зменшення собівартості (ΔC) серійного твердого сплаву ВК10-ХОМ в порівнянні з вартістю переробленого твердого сплаву ВК10-ХОМ становить:

$$\Delta C = \frac{(C_1 - C_2)}{C_2} \quad (5.2)$$

$$\Delta C = \frac{5300 - 3700}{3700} = 0,43$$

ΔC тобто складає 43%.

Вартість готового порошку із твердого сплаву складається з сумарної вартості сплаву, яка враховує: переробку порошку твердого сплаву; технологічні операції по подрібненню та розсіву порошку; термічна обробка; сушка; контрольні операції та ін. При цьому, питома вага обробки (r) в ціні готового порошку становить:

$$r = 15\% \quad (5.2)$$

Таким чином, враховуючи зменшення вартості твердого сплаву (ΔC), коефіцієнт зменшення вартості ($K_{ЗВ}$) твердого сплаву і його питому вагу (r) в готовому порошку, буде складати:

$$\Delta C = C_2 \times r \times K_{ЗВ} \quad (5.3)$$

$$\Delta C = C_2 \times 0,15 \times 1,43 = 0,214 C_2$$

де C_2 – собівартість готової деталі зі сплаву ВК10-ХОМ.

Отже, собівартість (C_2) виробу, виготовленого зі переробленого сплаву ВК10-ХОМ становить:

$$C_1 = C_2 + \Delta C \quad (5.4)$$

$$C_1 = C_2 + 0,214 \times C_2 = (1 + 0,214) \times C_2 = 1,214 \times C_2$$

$$C_1 = 1,214C_2$$

З розрахунків видно, що собівартість (C_2) одного виробу, виготовленого з переробленого з відпрацьованого інструменту сплаву ВК10-ХОМ на 21% менше собівартості (C_1) виробу, виготовленого з серійного твердого сплаву ВК10-ХОМ.

Вартість виготовлення одного кілограму порошку, виготовленого з переробленого з відпрацьованого інструменту сплаву ВК10-ХОМ, складає 3700 гривень, відмінно від вартості виготовлення одного кілограму порошку, виготовленого з серійного твердого сплаву ВК10-ХОМ – 5700 гривень.

Беручи до уваги, що перероблений порошок ВК10-ХОМ відповідає технічним вимогам, що ставляться до твердих сплавів даної групи, економічний ефект складає 21%.

Тоді річний економічний ефект розрахуємо за формулою:

$$E_p = (C_1 - C_2 \times \frac{T_c}{T_n}) \times N \quad (5.5)$$

де C_1, C_2 – собівартість старого і нового виробу, грн. ;

T_c, T_n – термін служби старого і нового виробу, грн. ;

N – річна програма випуску, кг/рік

Так як отриманий порошок відповідає всім технічним вимогам що і порошок отриманий за стандартною технологією, то термін служби таких виробів має бути однаковим. Тоді:

$$E_p = (5300 - 3700) \times 1000 = 1600 \text{ тис. грн.}$$

Отже річний економічний ефект складає 1600 тис. грн

ВИСНОВКИ

В ході даної роботи було досліджено вплив технологій переробки відпрацьованого інструменту на властивості отримуваних твердих сплавів на основі WC-Co. Досліджені більш ефективні методи отримання порошку, режими та умови спікання для отримання якісної мікроструктури та фізико-механічних властивостей, що задовольняють технічним умовам для твердих сплавів отриманих традиційним способом.

Було встановлено, що використання повітроструминного млина на етапі помола отриманого порошку дозволяє отримати більш якісний порошок без додаткових сторонніх домішок, що напряму впливає на якість отримуваних виробів із відпрацьованого порошку твердого сплаву.

У результаті досліджень були встановлені оптимальні режими та умови спікання порошку, а саме температура спікання - 1400 °C, витрата водоводу - 600 л/год, витримка в робочій зоні - 60 хвилин/лодочка; вміст графітової крупки в кораксі - 2,5%, лодочки з виробами накриті графітовими кришечками. В результаті чого отримали зразки з наступними параметрами: границя міцності на згин 206 кг/мм², середня густина зрізків – 14,5 г/см³, твердість зразків – 91 HRA, що відповідає технічним вимогам ТУ48-19-60-78

Отже з плином часу значення переробки скрапу твердих сплавів дедалі більше зростатиме, і в майбутньому регенеровані сплави стануть домінантними на світовому ринку, що впливає з економічних, екологічних і ресурсозберігаючих міркувань. Необхідною умовою досягнення високої якості регенерованих продуктів, особливо для методів прямої регенерації, є організація системи ретельного попереднього збирання, сортування за марками та очищення скрапу від сторонніх домішок.

Детально розглянувши технологічні операції, що були проведені у ході дипломного проекту, з точки зору охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, можна зробити висновок, що всі технологічні операції відповідають нормам, що встановлені законодавством. Спеціальне

обладнання має необхідні захисні деталі та елементи: сталевий кожух, попереджувальні написи, захисне вимкнення та інше. Частина процесів повністю автоматизована. Устаткування виконане з якісних матеріалів. Самі технологічні процеси максимально знижують можливий контакт із небезпечними речовинами. Проаналізовано вимоги безпеки в надзвичайних та аварійних ситуаціях.

За результатом розрахунку організаційно-економічному розділі, розрахували вартість виготовлення одного кілограму порошку, виготовленого з переробленого з відпрацьованого інструменту сплаву ВК10-ХОМ, яка складає 3700 гривень, що в порівнянні з вартістю одного кілограму порошку, виготовленого з серійного твердого сплаву ВК10-ХОМ – 5700 гривень, економічний ефект складає 21%. А річний економічний ефект складає 1600 тис. грн

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Коломоець В. Т., Шаповал О. М., Ситник О. О., Золотарьов Г.Р., Федотьєв М. О. Сировинна база твердосплавної промисловості України // Інструментальний світ. – 1998. – № 3. – С. 49–50.
2. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. — Киев: Наук. думка, 1984. — 327 с.
3. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук [Текст] / А. М. Степанчук. — К. : НТУУ "КПІ", 2006. — 353 с.
4. Федотьєв А. М. Працездатність різальних пластин із порошків твердого сплаву, регенованих методом вібророзмелу: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Кіровоград, 2003. — 18 с.
5. Liu Sha, Liu Gang, Yang Gui-bin, Huang Ze-lan. A new environmental-acceptable process for regeneration of cemented carbide scraps // Rare Metals and Cemented Carbides. – 2004. – Vol. 32 – N. 2. – P. 21–23, 32 (in Chinese).
6. Сытник А. А., Васильев А. Д., Слысь И. Г. Влияние пористости на трещиностойкость хрупких порошковых материалов // Электронная микроскопия и прочность материалов. — Киев: Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины, 1989. — С. 34—40.
7. Edtmaier C., Schiesser R., Meissi C., Shubert W. D., Bock A., Schoen A., Zeiler B. Selective removal of the cobalt binder in WC/Co based hardmetal scraps by acetic acid leaching // Hydrometallurgy. – 2005. – 76 – N. 1–2. – P. 63–71.
8. Бондаренко В. П., Мартынова Л. М., Павлоцкая Э. Г. Переработка сортированных кусковых отходов вольфрамowych твердых сплавов и изготовление элементов аппаратов высокого давления из переработанных отходов // Інструментальний світ. – 1998. – № 3. – С. 52–56.

9. Lassner E., Schubert W.-D. Tungsten: properties, chemistry, technology of the element, alloys, and chemical compounds. – New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 1999. – 422 p.
10. Dvornik M.I., Research of surfaces and interfaces increasing during planetary ball milling of nanostructured tungsten carbide/cobalt powder / M.I. Dvornik, A.V. Zaytsev // Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2013. vol. 36. P. 271-277
11. Бондаренко В. П., Павлоцкая Э. Г. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. – К.: Наук. думка, 1995. – 204 с.
12. Державний стандарт України. Металеві матеріали. ДСТУ ISO 7438:2005 Випробування на згин (iso 7438:1985, idt), Київ Держспоживстандарт України 2007
13. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:2005, IDT) [Текст] : ДСТУ ISO 6508-1:2013. – [Чинний від 2014-01-01]]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2014
14. Державний стандарт України. Металеві матеріали. ДСТУ ISO 6508-1:2013 Визначення твердості за роквеллом. (iso 6508-1:2005, idt) Київ Держспоживстандарт України 2007
15. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. [Текст] : (IEC 62305:2006, NEQ) : ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – На заміну РД 34.21.122-87 ; чинний з 2009-01-01. – К. : Мінрегіон України, 2008. – 76 с. – (Національний стандарт України)
16. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

17. Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України)
18. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми)
19. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки)
20. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)
21. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями [Електронний ресурс] : 90/270/ЄЕС. – Чинний від 1990-05-29. – Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. – URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>. – (Директива ; Міжнародний документ)
22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : НПАОП 40.1-1.21-98. – На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний від 1998-01-09. – К. : Мінпраці України, 1998. – 89 с. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)
23. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>. – (Державні санітарні норми)

24. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми)
25. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст] : ДБН В.2.5-67:2013. – На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 149 с. – (Державні будівельні норми України)
26. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження захисного заземлення та методика його розрахунку» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл. М.О. Журавель, С. М. Журавель – Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС, 2017. – 30 с.