Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

рівень вищої освіти ___першій бакалаврський рівень_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему Розробка нової технології отримання деталей з порошкової сталі на основі дослідження процесів виробництва_____

Виконав: студент ___4__курсу, групи 6.*1362-М*

__Подорожко Т.А._____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація

_____
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

*Металургія*_____
(шифр і назва)

Керівник Григор'єв С.М.___ _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Нестеренко Т.М._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *перший бакалаврський рівень*
другий (магістерський) рівень

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *металургія*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь

"__" 12 2025 року

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

Подорожко Тетяна Анатолівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка нової технології отримання деталей з порошкової сталі на основі дослідження процесів виробництва

керівник роботи (проєкту) *Григор'ев Станіслав Михайлович* д.т.н. *професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "23" 12 2025року № 1831-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 15.*06.2026*

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *Вдосконалення технології порошкової сталі*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Реферат. Вступ. Загальна частина. Дослідницька частина. Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 15 слайдах (на 15 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1 назва розділу	*Григор'єв С.М., професор*	
Розділ 2 назва розділу	*Григор'єв С.М., професор*	
Розділ 3 назва розділу	*Григор'єв С.М., професор*	
Розділ 4 назва розділу	*Григор'єв С.М., професор*	
Затвердив	*Бєлоконь Ю.О. завідувач кафедри*	

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1	*Вступ*		
2	*Реферат*		
3	*Розділ 1*		
4	*Розділ 2*		
5	*Розділ 3*		
6	*Розділ 4*		
7	*Висновки*		

Студент _____ **Т.А. Подорожко**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *С.М. Григор*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить 69 сторінки, 10 рисунків, 15 таблиця, 17 літературних джерел

Мета роботи – Розробка технологічного процесу виготовлення конструкційних деталей з порошкової сталі.

У дипломному проекті проаналізовано та обрано матеріал і схему технологічного процесу за яким відбувається виготовлення втулок. Також актуальність виробу. На основі цих даних на завдання розраховано і складено матеріальний баланс та вибрано і розраховано кількість обладнання потрібного для виробництва.

Встановлено, що найкращім матеріалом для виготовлення, втулок, яке пройшло подвійне пресування і спікання.

ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПОДВІЙНЕ ПРЕСУВАННЯ ТА СПІКАННЯ, ВТУКЛА.

ABSTRACT

The diploma project contains 69 pages, 10 figures, 15 tables, 17 literary sources Purpose - Development of the technological process of manufacturing structural parts for work in difficult conditions.

In the diploma project the material and the scheme of technological process on which there is a manufacturing of plugs are analyzed and chosen. Also the relevance of the product. Based on these data, the material balance is calculated and compiled for the task and the amount of equipment required for production is selected and calculated.

It is established that the best material for the manufacture of bushings, which has undergone double pressing and sintering.

POWDER MATERIALS, TECHNOLOGICAL PROCESS, DOUBLE PRESSING AND SINKING, FLOWED.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД 12
1.1 Спечені зносостійкі конструкційні матеріали 12
1.2 Спечені карбідосталі 15
1.2.1 Склад та властивості 15
1.2.2 Структура 18
1.3 Способи та технологія отримання карбідосталі 19
1.3.1 Приготування сумішей порошків карбідосталі 20
1.3.2 Пресування та спікання порошкових карбідостілей 23
1.3.3 Ізостатичне гаряче пресування та гаряча екструзія 26
1.3.4 Гаряче штампування карбідосталі 28
1.4 Висновки 30
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ 32
2.1 Досліджувані матеріали 32
2.2 Вибір обладнання 32
2.3 Дослідження властивостей порошків 35
2.4 Висновки 36
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАРЯЧЕШТАМПОВАНОГО МАТЕРІАЛУ 37
3.1 Фазовий та елементний склад порошку швидкорізальної сталі 37
3.2 Структуроутворення при нагріванні (спіканні) порошкової заготовки карбідосталі 41
3.3 Вплив режимів термообробки на структуру карбідосталі 45
3.4 Механічні властивості карбідосталі 48
3.5 Зносостійкість карбідосталі 49
3.6 Висновки 50

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 52
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії 52
4.2 Заходи з поліпшення умов праці 54
4.3 Електробезпека 57
4.4 Протипожежна безпека 59
4.5 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) 60
4.6 Розрахунок захисного заземлення 62
4.7 Висновки 64
ВИСНОВКИ 66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 68

ВСТУП

Актуальність теми. Машинобудівні галузі потребують у великій номенклатурі конструкційних деталей із зносостійких матеріалів, які мають відповідати високим вимогам надійності, довговічності, економічності при роботі в умовах відсутності мастила, роботі у вакуумі, агресивних газових та рідких середовищах. До такого класу матеріалів відносяться карбідосталі, які складаються з швидкорізальної сталі і карбіду титану з масовою часткою до 50%.

Дані зарубіжних досліджень свідчать про перспективність використання порошкових інструментальних матеріалів з добавками тугоплавких з'єднань, переважно карбіду титану. Карбідосталі володіють унікальними властивостями, поєднуючи в собі технологічність сталей з твердістю та зносостійкістю твердих сплавів. За своїми службовими характеристиками займають проміжне положення між інструментальними сталями та твердими сплавами. Порівняно з твердими сплавами карбідосталі при рівноцінній твердості (87 – 89 HRA) відрізняються більшою міцністю (на 30 - 50%) і вищою ударною в'язкістю (у 2 – 4 рази), зниженим коефіцієнтом тертя (на 15 - 20%), а також меншою вартістю (на 50 – 60%).

Водночас усі зазначені технології отримання карбідосталі багатоопераційні, а технологія ГІП/екструзія забезпечує отримання лише довгомірних пруткових заготовок. З погляду підвищення економічності певною альтернативою застосовуваним технологіям може стати технологія гарячого штампування, що виключає операції тривалої термічної обробки (спікання, ГІП) та забезпечує отримання заготовок з розмірами, близькими до готового виробу, заданими щільністю та характеристиками міцності.

Таким чином, комплексне дослідження фазового складу, структури та властивостей гарячештампованої карбідосталі «швидкорізальна сталь – карбід титану» для виробництва високозносостійких матеріалів та виробів, які після штампування не потребують або потребують лише незначної

механічної обробки, а також створення науково-обґрунтованої технології отримання карбідосталі за допомогою підготовки порошкового сировини до переробки, холодного ущільнення та гарячого штампування порошкових заготовок, є актуальним науковим та практичним завданням у сфері порошкової металургії та композиційних матеріалів.

Метою цієї роботи є встановлення закономірностей впливу розмелювання порошкової сировини та термомеханічної обробки заготовок з неї на властивості карбідосталі «швидкорізальна сталь Р6М4ФЗКХ4 – карбід титану» та розробка на цій основі технології отримання конструкційних зносостійких виробів із неспеченого порошку в пористій оболонці методом гарячого штампування.

Для досягнення поставленої мети було поставлено низку **завдань**:

1. Встановити закономірності механічного диспергування та приготування сумішей порошків карбідосталі в атриторі та визначити фізичні, хімічні та технологічні властивості розмелених порошків.

2. Встановити технологічні параметри гарячого штампування заготовок з порошків карбідосталі.

3. Вивчити особливості структуроутворення та фазовий склад карбідосталі в процесі її отримання методом гарячого штампування неспечених заготовок.

4. Встановити фізико-механічні властивості карбідосталі в результаті обробки тиском та термічної обробки порошкових заготовок.

Об’єкт дослідження. карбідосталь «швидкорізальна сталь – карбід титану», отримана методом гарячого штампування з неспечених порошків.

Предмет дослідження. Особливості початкового етапу формування макроструктури в процесі укладання часток у суміші порошків швидкорізальної сталі та карбіду титану; особливості ущільнення шихти карбідосталі в оболонках при гарячому штампуванні; структуроутворення та фазовий склад карбідосталі; властивості гарячештампованої та термообробленої карбідосталі.

Методи дослідження. Дослідження мікроструктури матеріалу та його елементного складу проводили на електронних мікроскопах. У роботі використали оригінальні та стандартні методи дослідження вихідної сировини та штампованих матеріалів. Для дослідження фракційних складів розмелених порошків використовували аналізатор зображень. Процес штампування порошкових заготовок в оболонках досліджували методом комп'ютерного моделювання з використанням співвідношень теорії пластичності пористого тіла. Фізико-механічні та технологічні характеристики матеріалів визначали згідно зі стандартними методиками.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Методом моделювання процесу укладання полідисперсних частинок порошкової карбідосталі Р6М4ФЗКХ4 - 20% TiC встановлені співвідношення їх розмірів, які забезпечують відносно рівномірне розподіл твердих включень у матричному матеріалі.

2. Встановлено особливості гарячого ущільнення порошку карбідосталі в пористих оболонках, відмінних від відомих тим, що на відміну від гарячого ущільнення порошку карбідосталі з застосуванням оболонок з компактних матеріалів при використанні пористих оболонок можливе регулювання розподілу пористості в обсязі виробу.

3. Отримана графічна експоненційна залежність ущільнюваності вільно засипаного порошку карбідосталі при гарячому штампуванні, на відміну від відомих раніше результатів, що описують гаряче штампування попередньо сформованих пористих заготовок.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано нову технологічну схему розмелювання, яка відрізняється введенням у технологічний процес операції попереднього розмелювання порошку карбіду титану до заданого розміру частинок, що гарантує отримання у готовій шихті співвідношення розмірів частинок сталі та карбіду титану, близького до оптимального.

Особистий внесок автора. Кваліфікаційна робота магістра є самостійною роботою автора, в якій узагальнені результати досліджень, отриманих в ході виконання науково-дослідних робіт. Аналіз літературних даних і узагальнення їх результатів виконані особисто автором.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 17 найменування, викладена на 69 сторінках машинописного тексту, включаючи 14 рисунків, 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Спечені зносостійкі конструкційні матеріали

Спечені конструкційні матеріали зазвичай виготовляють із порошків легованих сталей, вуглецевих сталей, кольорових металів та сплавів. До типових деталей конструкційного призначення, що виробляються методами порошкової металургії, належать шестірні, зірочки, храповики, кулачки, гайки, корпуси, кришки, фланці, ковпачки, заглушки, шайби, важелі, ручки, державки різців та інші деталі машин та приладів. Значна частина вказаної номенклатури (шестірні, зірочки, кулачки тощо) повинна мати підвищену зносостійкість.

Основним принципом забезпечення високої зносостійкості матеріалу є створення його гетерогенної структури. Одним із способів створення такої структури у спечених матеріалах є процес спікання, який не супроводжується повною гомогенізацією матеріалу. Так, у хромистих сталях за рахунок цього можлива організація великих хромистих включень, твердість яких значно вища за твердість основи матеріалу. Іншим способом є штучне введення в міцну пружнопластичну матрицю з металевого порошку твердих (протизадирних) включень.

Для характеристики впливу твердих включень на зносостійкість можна розглянути особливості структури та властивостей пористих двокомпонентних матеріалів залізо-скло [1]. Гетерогенна структура таких матеріалів складається з твердих зерен, рівномірно розподілених у пружно пластичній металевій матриці. Працюючи пари тертя діючого навантаження розподіляється по твердим включенням, а пружнопластичність матриці відбувається релаксація руху. Швидкість можливої пластичної деформації матеріалу матриці різко знижується через гальмування дислокацій, що рухаються, твердими включеннями. Це призводить до зниження інтенсивності схоплювання при утворенні контакту матриця-матриця, а сам

процес макросхоплювання металевих поверхонь переривається, якщо утворюються контакти матриця-тверде включення або тверде включення-тверде включення.

Оптимальні характеристики двокомпонентних пористих матеріалів спостерігаються при введенні 10-30% обсягу твердих включень. В умовах тертя без мастила схоплювання між сполученими поверхнями не спостерігається, сумарна інтенсивність зношування знижується в 20-30 разів у порівнянні з таким же матеріалом, але без твердих включень.

Подрібнення структури сприяє зменшенню відстаней між бар'єрами дислокацій та, як наслідок, підвищенню експлуатаційних характеристик матеріалів. Так, для металоскляного матеріалу на основі карбонільного заліза з подрібненою структурою одночасно з підвищенням зносостійкості спостерігається і суттєве підвищення характеристик міцності та пластичності (межі міцності на розрив па - 30%, на вигин - на -70%, ударної в'язкості - у 2,5-4 рази).

Підвищеною зносостійкістю при терті в абразивних середовищах характеризуються матеріали типу залізо-ферохром, залізо-феромарганець та залізо-феротитан, у яких тверді включення також вводяться безпосередньо у шихту. Порівняно із звичайним високомарганцевим матеріалом стійкість зазначених композиційних матеріалів різко зростає: для матеріалів систем залізо-ферохром та залізо-феромарганець у 2 рази. Інтенсивність зносу матеріалу залізо-феротитан знижується в 1,5-2 рази [2].

Особливо ефективним є вплив твердих включень в пружнопластичній матриці на зносостійкість порошкових матеріалів на основі титану. Порошковий нелегований титан при терті на повітрі без мастила схильний до схоплювання, граничне навантаження при цьому не перевищує 0,7 МПа. Зносостійкість матеріалу зі структурою легована титанова матриця - тверде включення вище зносостійкості вихідного титану в 40-100 разів.

Високу міцність і зносостійкість мають порошкові матеріали, отримані спіканням пресувань з шихти залізо-карбід бору (B_4C) [3]. Ці матеріали

мають доевтектоїдну дрібнозернисту структуру перліту або фероперліту з карбоборидами заліза та хімічними сполуками типу Fe_3C, Fe_2B, FeB. Гетерогенна структура матеріалу, що представляє собою леговану матрицю та тверді включення складних карбідів та боридів забезпечує підвищену зносостійкість, наприклад, порівняно зі сталлю 45 в 3,5 рази.

Описані зносостійкі композиційні матеріали вже використовуються у машинобудівній промисловості. Металоскляні матеріали використовують при виготовленні навантажених деталей вузлів тертя (зубчасті колеса, кулачки, кільця ущільнювачів, деталі ткацьких машин, виробів сільськогосподарського машинобудування). Матеріали типу залізо-карбід бору рекомендуються для виготовлення деталей приладів, що працюють в умовах дії помірних навантажень при терті без мастила або при його обмеженому підводі.

Досить широкого поширення починають отримувати карбідосталі [4]. Карбідосталі називають матеріали, що складаються з легованих сталей та карбідів з об'ємною часткою до 50%. Карбідосталі застосовуються як конструкційні зносостійкі матеріали, ріжучий інструмент та інструменту для обробки матеріалів тиском. Вже накопичений великий науковий матеріал щодо створення та властивостей карбідосталі різноманітного хімічного складу, розроблення методів їх одержання, а також певний досвід їх промислового застосування [5].

Цей науковий та виробничий досвід однозначно підтверджує перспективність карбідосталі і дає підстави для постановки нових наукових та прикладних досліджень з метою розширення номенклатури карбідосталей, вивченню їх структури й властивостей та створенню сучасних прогресивних методів виготовлення деталей із них.

1.2 Спечені карбідосталі

1.2.1 Склад та властивості

Карбідосталі спочатку розроблялися як сплави, за своїми властивостям проміжні між інструментальними сталями та твердими металами. Об'ємний вміст тугоплавкої фази в карбідосталі було значно більше, ніж у інструментальних сталях, але менше, ніж у твердих сплавах. Це дозволило після відповідної термообробки піддавати їх всім видам механічної обробки. Такі сплави містять зазвичай до 50% об'ємних часток карбідів. Карбідосталі зазначеного складу можна вважати «традиційними» на відміну тих, які містять більше тугоплавкої фази. Сталь надає сплавам здатність термічно та механічно оброблятися, а карбідні зерна – зносостійкість. Можна забезпечити таку твердість зв'язки після термічної обробки, що сплави набувають інтегральної твердості, що не поступається твердості ряду вольфрамових та безвольфрамових твердих металів. Однак, завдяки більшому вмісту металевої фази у них вища пластичність та в'язкість.

Спочатку як металеву складову в карбідосталях використовували вуглецеві сталі, які надалі з метою підвищення твердості матеріалів були замінені легованими марками. Більшість відомих карбідосталей мають сталеві зв'язки, що містять значну кількість хрому, нікелю, молібдену, вуглецю. Ці елементи у процесі виготовлення карбідосталі за рахунок гарної змочуваності карбідних зерен сталевим розплавом забезпечують високі механічні властивості виробів [6].

Фізико-механічні властивості деяких карбідосталей різних хімічних складів наведено у таблиці 1.1. Сталі виготовляли методом рідкофазного спікання. Крупність порошку TiC становила 2-3 мкм, крупність металевих компонентів – у середньому 20 мкм.

Відомо, що міцність на вигин і твердість карбідосталі залежить переважно від хімічного складу карбіду, хімічного складу та кількості зв'язки, тривалості спікання, а ударна в'язкість - головним чином від

кількості зв'язування. На багато механічних характеристик впливає залишкова пористість. Пори є концентраторами напруги, вони знижують міцність на стиск та вигин, ударну в'язкість та твердість.

Таблиця 1.1 - Фізико-механічні властивості карбідосталі

Марка сталі	Вміст TiC, %	Твердість		$\sigma_{ст}$, МПа	
		після відпалу	після загартування	після відпалу	після загартування
TiC-Х10М	50	41	74	1800	3100
	40	39	70	1600	2500
	30	28	65	1400	2000
TiC-Х6Н2М8	40	50	70	1800	3000
	35	46	68	1600	2600
	30	42	66	1300	2200
TiC-6Х10М3	34		45-70		

Абразивний знос карбідосталі істотно залежить від розміру зерен карбідної фази та складу сталевої зв'язки. Зі зменшенням розмірів зерен карбіду титану стійкість карбідосталі при абразивному зносі підвищується. На інтенсивність зносу впливає також міцність сталевої зв'язки: якщо її міцність низька, зерна можуть фарбуватися. Антифрикційні властивості карбідосталі представлені у таблиці 1.2.

Випробування проводили за принципом торцевого тертя. Зразки випробовували без мастила у звичайних умовах (293 К) та в рідкому азоті по контртілах, які були виготовлені з карбідосталі. За критерій оцінки було прийнято інтенсивність зносу. Шлях тертя склав пробіг зразка за 1 годину і для застосовуваної швидкості ковзання 1,1 м/с було відповідно 4,0 км.

Таблиця 1.2 - Антифрикційні властивості карбідосталі при терті без мастила

Марка сталі	Вміст TiC, %	Швидкість ковзання, м/с	Питоме зусилля, МПа	Інтенсивність зносу *I*, мк/км, та коефіцієнт тертя *f*			
				При кімнатній температурі		В рідкому азоті	
				I	*f*	*I*	*f*
TiC-Х10М	40	1,1	2,0 2,5 3,0	0,47 0,48 0,60	0,11 0,12 0,12	0,24 0,28	0,09 0,08 0,07
	30	1,1	2,0 2,5 3,0	0,48 0,47 0,71	0,13 0,12 0,12		0,09 0,08 0,07
TiC-Х6Н2М8	35	1,1 1,1 1,0	2,0 2,5 3,0	0,25 0,48 0,48	0,10 0,10 0,09		0,08 0,08 0,07
	30	1,1 1,0 1,1	2,0 2,5 3,0	0,24 0,46 0,72	0,11 0,11 0,09	0,24 0,46	0,10 0,08 0,08

Широкою областю застосування карбідосталі, завдяки високій міцності та в'язкості, а також високої стійкості проти адгезійного зношування, є зносостійкі конструкційні деталі. Тому вони знаходять застосування у випадках, коли тертьові поверхні повинні хоча б за малий час працювати без мастила. Наприклад, підшипники з повітряним мастилом в інерційних системах наведення ракет та літаків, а також підшипники та інші ковзаючи поверхні, що працюють без мастила у вакуумі [8]. Застосування знаходить і інша властивість карбідосталі – висока жорсткість.

Карбідосталь у зв'язку з її підвищеною теплостійкістю знаходить застосування при виготовленні реактивних деталей (ротор та лопатка паливного насоса) та роторних двигунів (передня прокладка-ущільнювач). Корозійностійкі сталі застосовуються для виготовлення сідел та штоків клапанів двигунів, що піддаються одночасному зношуванню, електрохімічній чи хімічній корозії.

Десятикратне перевищення стійкості було зафіксовано під час використання карбідосталі при виготовленні вкладишів для штампування пружинної смугової сталі методом вирубки, карбункового інструменту, штепсельних гнізд та штампів для пробивання отворів у електрощитах. При штампуванні бронзових заклепок інструмент з карбідосталі за стійкістю не поступався інструменту з твердих металів. Звичайний термін служби прес-форм для пресування високо абразивних порошків з карбідосталі зі зв'язкою з хромистої високо вуглецевої сталі становив сто тисяч циклів. Зазначається, що застосування карбідосталі особливо вигідно, коли кількість виробів, що серійно виготовляються занадто мале застосування звичайних твердих сплавів.

1.2.2 Структура

У промисловому виробництві карбідостілі найчастіше застосовують технологію рідкофазного спікання.

Температурна зона рідкофазного спікання карбідосталі характеризується складними фізико-хімічними процесами взаємодії, що відбуваються, головним чином, на контактних поверхнях частинок.

Утворення рідкої фази сталі з карбідом титану при 1120 °С відбувається внаслідок дифузії вуглецю з контактуючими зі сталлю зернами карбіду титана. Рідина, що утворилася, швидко розсмоктується по капілярах заготовки і кристалізується. Це пов’язано з витрачанням вуглецю евтектики відновлення оксидів і розчинення у рідкій фазі заліза. При подальшому підвищенні температури утворення евтектики відбувається за рахунок дисоціації карбідів швидкорізальної сталі. Склад рідкої фази постійно змінюється зі збільшенням часу витримки: розчиняються менш стійкі карбіди та утворюються нові карбіди, стійкіші за умов контакту з рідкою фазою. При просоченні рідкою фазою тонких капілярів, що утворюються зернами карбіду титана і сталі, відбувається зневуглецювання та кристалізація рідкої фази внаслідок витрати вуглецю на відновлення оксидів та перекристалізацію. При

цьому безперервний процес розчинення-осадження карбідів через рідку фазу може призвести до повної перекристалізації зерен карбідів.

Аналіз мікроструктур спечених матеріалів дозволяє відзначити, що при відносно малих вмістах карбіду титана у композиті (до 30%), утворення рідкої фази при температурах спікання нижче за температуру утворення евтектики для сплаву металевої зв'язки, локалізується, головним чином, навколо зерен з утворенням так званої «кільцевої зони».

За даними електронно-мікроскопічного аналізу, зерна карбіду титану з кільцевою структурою гетерогенні, мають чітко виражену межу між чистим карбідом і твердим розчином на його основі.

1.3 Способи та технологія отримання карбідосталі

Отримання карбідосталі з найбільш високими механічними та експлуатаційними властивостями досягається застосуванням технологічних методів, які дозволяють керувати впливом на кристалічну будову фаз сплавів і, тим самим, забезпечувати оптимальну структуру та фазовий склад.

Порошкові карбідосталі можуть бути отримані застосуванням різних технологічних методів, що досить сильно відрізняються один від одного використовуваними технічними прийомами термомеханічного впливу на оброблюваний матеріал. Це, насамперед, рідкофазне спікання, а також просочування, гаряче пресування, гаряче ізостатичне пресування (ГІП), гаряче штампування.

Спроби застосування методу гарячого пресування карбідосталі показали, що він, маючи такі недоліки як обмеження за розмірами та формою виробів, низьку продуктивність, до того ж не забезпечує необхідних високі механічні властивості. Широке застосування знайшов метод рідкофазного спікання.

Технологічні операції термічної обробки спресованих заготовок з порошків - рідкофазне спікання, просочення, ГІП, гаряче штампування - дали назву технологічним процесам отримання карбідосталі. Але всі технологічні

процеси включають спільні для них операції розмелювання та змішування порошків, формування заготовок, та термічної обробки (загартування, відпустки) заготовок та виробів з карбідосталі.

1.3.1 Приготування сумішей порошків карбідосталі

Приготування сумішей порошків карбідосталі (розмел/змішування) є однією з основних операцій, від якої значною мірою залежать кінцеві механічні властивості виробів [9]. Найчастіше застосовуваним

способом є спільне розмелювання змішування тугоплавкою і металевою складовою в кульових млинах. Рідше застосовуються конусно-інерційні дробарки, вібромлини, планетарні млини та атритори. У виробництві карбідосталі найбільше застосування отримало мокре розмелювання. Це обумовлено диспергуючою здатністю рідин, що призводить до більш активного руйнування агломерату частинок порошків. Крім того, розмельна рідина захищає порошок від взаємодії з киснем повітря.

Розмелювання кулями, крім збільшення дисперсності порошків та гомогенізації суміші, надає силовий вплив на кристалічну решітку компонентів, що призводить до збільшення їх дефектності та розвитку субструктури. Крім того, у зв'язку з утворенням нових поверхонь при подрібненні, спостерігається окислення компонентів у процесі розмелювання та після видалення розмольної рідини. Всі ці процеси впливають на спікаємість, структуру та експлуатаційні властивості карбідосталі. Чим дисперсніше застосовується металевий порошок, тим інтенсивніше проходить дроблення карбідних частинок і тим більш рівномірний їх гранулометричний склад. В той час, як металеві частинки перешкоджають дробленню карбідних, останні інтенсифікують процес подрібнення металевих частинок Карбідні частинки, розподіляючись серед більших частинок сталевого порошку, перешкоджають зчепленню і комкованню останніх, сприяють вільному переміщенню окремих частинок в рідкій суспензії і тим самим більш інтенсивному подрібненню їх під дією куль.

Необхідно враховувати, що дуже інтенсивне розмелювання, що проводиться з метою отримання дрібнодисперсних карбідосталей, призводить до значної механічної активації карбідних частинок. При подальшому спіканні це сприяє їхньому прискореному зростанню.

При застосуванні ж дрібнодисперсного плазмохімічного порошку TiC, що менше активується при розмелі, швидкість росту зерен при спіканні значно нижча.

При мокрому розмелі спостерігається втрата карбідом титану зв'язаного та загального вуглецю. Втрата вуглецю зростає разом із збільшенням тривалості розмелювання і залежить від розмольного середовища. Втрати вуглецю ростуть у ряді бензол (ацетон) - абсолютний спирт - гідролізний спирт-вода. При розмелі карбідосталі оптимальними є кількість розмольної рідини 500-600мл на 1 кг суміші, застосування куль діаметром 7-10 мм з твердих вольфрамвмісних сплавів, що мають високу щільність.

З метою інтенсифікації розмелювання застосовують вібраційні млини та атритори. У роботі порівнювали результати розмелювання карбіду титану на горизонтальній та вертикальній вібромлинах. Показано, що вертикальний млин ефективніший: у ньому вдалося розмолоти карбід титану до мікронного стану в досить короткий час. Однак розмелювання проводилося в повітрі, що призводить до різкого збільшення вмісту кисню (до > 2%).

З метою зменшення втрат пов'язаного вуглецю карбіду титану, краще застосовувати більш короткочасне, але інтенсивне розмелювання, наприклад, в атриторах.

Крім того, через короткочасність процесу розмелювання в атриторах (кілька годин), можна іноді виключити застосування розмольної рідини.

При застосуванні високошвидкісних атриторів необхідна тривалість розмелювання може бути, при досить хорошому розподілі компонентів суміші, зменшена до 2 годин. Частоту обертання варіювали від 500 до 1500 $хв^{-1}$, використовували для розмелювання сталеві кулі діаметром 3-4 мм,

кульове завантаження становило від 10:1 до 30:1. Встановлено, що за цих умов експерименту оптимальний час розмелювання становить 2 години. Питома поверхня порошку збільшується в 10-100 разів. Зазначається, однак, що, незважаючи на попереднє вакуумування камери атритора і подальше заповнення її аргоном, вміст кисню в порошку збільшується в 1,5-3 рази. Загальноприйнятою є рекомендація забезпечувати отримання карбідосталі і відповідно порошкових шихт з розміром частинок твердої складової 1-2 мкм. Розрахунки показують, що при щільній упаковці сфер тетраедричні порожнечі між ними можна вписати менші сфери з діаметром трохи більше 0,226 діаметра упакованих сфер. Це означає, що розмір частинок матричної складової карбідосталі повинен становити близько 5-10 мкм. Як було показано, одержання порошків з частинками такого розміру у кульових млинах потребує десятків годин. Час розмелювання в атриторах скорочується до 0,5-2 годин.

Наступними, після розмелювання, технологічними операціями є сушіння (для видалення розмольної рідини), пластифікація та грануляція.

Зазвичай шихту сушать у вакуумних сушильних шафах чи дистиляторах при 340-360 ^{o}C. При таких температурах спостерігається помітне окиснення порошкових компонентів, що може призвести до самозаймання порошків. Окислюваність значно менша при сушінні струменем повітря при кімнатній температурі.

Після сушіння суміш не придатна до холодного пресування в прес-формах через низьку міцність пресування, у пресуванні утворюються розшарові тріщини; незадовільна сипкість порошку, що ускладнює заповнення прес-форми. Для усунення цих недоліків до порошку додають пластифікатор 4-5% розчин синтетичного бутадієнового каучуку СКБ в бензині. У порошкову суміш на основі TiC такий розчин вводиться в кількості 400-500 мл на 1 кг порошку, що відповідає вмісту каучуку ~1%. Проводиться змішування з одночасною сушкою.

Висушена суміш пропускається через сито або гранулюється для покращення плинності. Застосування каучуку СКБ забезпечує достатню міцність пресування.

Порошок карбідосталі, подрібнений в кульовому млині і змішаний з 5%-вим розчином каучуку в бензині, мав задовільне пресування і забезпечувалося отримання досить міцних пресувань з відносною щільністю на рівні 75 - 80% після пресування під тиском 400. Однак, практика показує, що при попередньому спіканні каучук із пресування може видалятися не повністю, і тому цей процес необхідно ретельно контролювати.

Цих недоліків немає парафін. При нагріванні він видаляється без залишку. Суміші з парафіном не змінюють своїх властивостей при тривалому зберіганні.

При підготовці порошку до пресування можливе застосування високопродуктивного методу розбризкування рідкої суміші порошок-парафін-розчинник (толуол, чотирихлористий вуглець) під тиском через форсунку. За час вільного польоту частинки суміші втрачають розчинник, перетворюючись на гранули. Недоліком парафіну є низька міцність пресування та застосування токсичних розчинників. Можуть застосовуватися такі пластифікатори як полівінілацетатгліцерин і поліетиленгліколь, що вводяться в кількості близько 2%.

1.3.2 Пресування та спікання порошкових карбідостілей

Формування карбідостілей можливе декількома способами: холодне ущільнення (зі зв'язками) у прес-формах, гаряче пресування, мундштучне видавлювання (заготовки великої довжини та малого перерізу), прокатка, шлікерне лиття (заготовки складної форми), різні види ізостатичного пресування (великі заготовки), динамічні види пресування. Найчастіше застосовують холодне пресування у прес-формах.

Відомо, що при збільшенні інтенсивності та тривалості розмелювання порошку карбідосталі, коли збільшується її дисперсність, ущільнюваність

погіршується. Тому, якщо збільшувати інтенсивність і тривалість розмелювання порошкових сумішей карбідосталі разом із збільшенням вмісту карбіду титана, одночасно погіршується пресування. В результаті пористість пресування та їх усадка при спіканні вище у сплавів з високим вмістом карбіду. Для порошкових сумішей карбідосталі з 30-50% TiC застосовуються тиски пресування 200-300 МПа, а при великих кількостях 100-200МПа.

Основною метою попереднього спікання є видалення пластифікатора. Проводиться воно зазвичай серед водню. За дослідженнями бутадієновий каучук і поліетиленгліколь стабільні в атмосфері водню до 620-670 К. Видалення парафіну можна розділити на два етапи: до 420 К (відбувається в основному в рідкому вигляді в оточуючі заготівлю адсорбенти) і вище 420 К (шляхом випаровування). Часто попереднє спікання пресувань з каучуком проводиться при температурах 770-1070 К, тобто вищих, ніж необхідно видалення пластифікатора, з метою відновлення оксидів металів (заліза, міді) воднем і вуглецем. Однак порошки Сг і TiC при цьому можуть додатково окислюватися кисневмісними газами (H_2O, CO_2, CO), що виділилися при відновленні оксидів зв'язки і містяться в недостатньо чистому водні з високою температурою точки роси. Наявність металевого компонента призводить до зниження стійкості TiC до окислення. Окислення TiC у температурному інтервалі 770-1070 ^oC супроводжується зменшенням вмісту пов'язаного та збільшенням вільного вуглецю. Значне технологічне окислення TiC і Сг після розмелювання та під час попереднього спікання, погіршує спікання сплавів та впливає негативно на їх механічні властивості. На тлі такого сильного технологічного окислення різний вміст кисню у вихідних порошках TiC виявляється несуттєвими. При знижених температурах попереднього спікання зменшується зневуглецювання та окислюваність TiC кисневмісними газами.

Процес спікання як основна операція, що визначає кінцеві властивості виробу, здійснюється в присутності рідкої фази, що дозволяє отримувати

щільні вироби. Процеси рідкофазного спікання досліджувалися під час використання різних захисних середовищ. У середовищі водню TiC незадовільно змочується металами, виходять сплави з нерівномірним розподілом металевої зв'язки, високою пористістю та низькими механічними властивостями. Знижені властивості мають також карбідосталі, спечені в аргоні. При спіканні у вакуумі спостерігається тенденція до зневуглецювання, що пов'язано переважно з відновленням оксидів металів вільним вуглецем та вуглецем карбіду. Відіграють роль також залишки газів CO_2, O_2, H_2O у печі та взаємодія з адсорбованими газами. Зневуглецювання компенсується введенням у порошкову шихту надлишку вуглецю як сажі.

Найбільш сприятливими для спікання карбідосталі повинні бути умови, за яких відновлює і навуглецьована атмосфера CO з'являється лише за високих температурах (понад 1170 ^oC), коли цей газ (при його певних тисках печі) не є окислювачем стосовно TiC. Такі умови створюються при спіканні в печах із вольфрамовими (молібденовими) нагрівачами. у присутності графіту, наприклад, у графітових контейнерах.

Атмосфера CO не тільки навуглецьовує зв'язки, що може сприяти, при певному його тиску в печі, видаленні кисню і насичення TiC вуглецем.

На структуру та механічні властивості найбільше впливає температура спікання. Оптимальною є температура, при якій кількість рідкої фази достатньо для активації усадки та утворення дрібнозернистої структури. Оптимальна температура вибирається експериментально, зазвичай по максимуму властивостей міцності. Вона залежить як від складу, і від технології. Час ущільнення залежить від температури спікання. У разі достатньої кількості рідкої фази щільності, близькі до теоретичних, можуть бути досягнуті вже за кілька хвилин.

Для отримання задовільної мікроструктури карбідосталі з відносно дрібним аустенітним зерном і дисперсними карбідами необхідне забезпечення в процесі спікання мінімальної кількості рідкої фази та, по

можливості, обмеження часу витримки при температурі ізотермічного спікання за наявності рідкої фази, що на практиці досить складно здійснити.

1.3.3 Ізостатичне гаряче пресування та гаряча екструзія

В основу технології покладено спосіб отримання швидкорізальної порошкової сталі з підвищеним вмістом карбідоутворюючих елементів. Розпорошуючи розплав серед аргону чи азоту, отримують порошок зі сферичними частинками розміром < 100 мкм при вмісті кисню < 0,01%. Розпорошений порошок і тугоплавкі сполуки піддають тонкому подрібненню та змішуванню. Переробка порошкової суміші починається з вібраційного введення його в сталеву капсулу, з якої видаляють повітря, замінюючи його азотом, чим підвищують теплопровідність порошку і усувається можливість його окислення; капсулу герметично заварюють.

Потім слідує ізостатичне холодне пресування під тиском 400 МПа. Це підвищує щільність порошку в середньому із 68 до 75 %. Оброблену капсулу нагрівають до 1050-1150 °С, створюючи в ній додаткове розрядження (до 10 Па). Ізостатичне гаряче пресування проводять під тиском 100 МПа. Залишкова пористість залежить від розмірів заготовки та температури обробки. В принципі можна отримати безпористий матеріал, але це необов'язково, враховуючи подальшу ущільнюючу дію на матеріал при його подальшій обробці гарячим куванням або прокаткою.

Друга технологія відрізняється від описаної вище тим, що порошок у капсулі замість ГІП піддають гарячій екструзії, що дозволяє виключити додаткові операції кування та прокатки.

Принциповою відмінністю цих технологій є використання консолідації матеріалу температур, що не перевищують 1150 °С, при яких працює твердофазний механізм спікання.

До недоліку можна віднести лише високі витрати для реалізації технології, що призводить до відносно високої вартості готового продукту.

Щодо номенклатури виробів з карбідосталі, то рекомендується виготовляти з неї для інструментального виробництва висадкові та розділові штампи, накатний інструмент, калібри, центри, що задають ролики, а також ріжучий інструмент. У металургійному виробництві матеріал може використовуватися для виготовлення різного деформуючого інструменту - матриці для холодного та гарячого деформування профілю та труб, оправки для холодного волочіння, прокатні валки дрібносортних станів та станів холодної прокатки, штампи холодної висадки та ізотермічного штампування, прес-форми для гарячого штампування та пресування порошків.

Деякі вироби з перерахованої номенклатури, виготовлені механічною обробкою, представлені на рисунку 1.1.

Більшість представлених виробів можуть бути виготовлені методом гарячого штампування.



Рисунок 1.1 - Вироби з карбідосталі

1.3.4 Гаряче штампування карбідосталі

Економічним методом гарячої обробки тиском пористих порошкових заготовок є метод гарячого штампування. Конструкційні вироби, що виготовляються цим методом, мають порівняно невеликі допуски за розмірами і покращену поверхню. При гарячому штампуванні забезпечується значна економія матеріалів [11].

Можливість промислового застосування цього методу значною мірою залежить від правильного добору порошків. Відомо більше 150 порошків, придатних для гарячого штампування. Серед легуючих елементів велике значення має вуглець, що визначає можливість термічної обробки виробів, що отримуються. Він діє також як відновник елементів з невеликою спорідненістю до кисню. Як легуючі, широко застосовуються також хром і ванадій. Одержання легованих гарячештампованих порошкових сталей можливе обробкою готових легованих порошків (переважно розпилених) з додаванням до них графіту або сумішей порошку заліза, носіїв легуючих елементів та графіту. В останні роки розроблено технологічні процеси розпилення порошків, що містять легуючі елементи, що мають значну спорідненість до кисню, зокрема, хром та ванадій. До таких порошків відносяться розпилені порошки швидкорізальних сталей, про які йшлося у попередньому розділі. З появою цих порошків з'явилася можливість отримання їх виробів методом гарячого штампування.

Відмінною особливістю цієї технології є попереднє твердофазне спікання заготовок. Спікання спресованих на пластифікаторах заготовок здійснювали у дві стадії: на першому етапі в аргоні для видалення пластифікатора при 850-950 °С протягом 1,5 годин, а остаточне спікання проводили у вакуумі при 1150-1300 °С. У процесі твердофазного спікання починають розвиватися процеси зрощення частинок карбіду титану, відбувається дифузійне розчинення легуючих елементів сталі (вольфраму, хрому, молібдену та ванадію) у зернах карбіду титану, відновлюються

оксиди, що утворилися при розмелюванні. Оптимальна температура спікання 1150 ºС.

Результати трибологічних випробувань вказують на істотно більш високу зносостійкість карбідосталі зі зв'язкою з вуглецевою сталю як порівняно з аналогічними карбідосталями на основі мало вуглецевої залізної, так і стандартними легованими сталями, виготовленими за звичайною металургійною технологією.

На рисунку 1.2 як приклад показаний ролик дротяного стану, виготовлений механічною обробкою штампованої спеченої заготовки.



Рисунок 1.2 - Ролик дротяного стана, виготовлений механічною обробкою спеченої штампованої заготовки

Традиційна технологія гарячого штампування порошкових заготовок не передбачає попереднього спікання, якщо застосовуються леговані порошки і не потрібно реалізовувати дифузійне легування.

Апробація методу гарячого штампування порошкових матеріалів у тонкостінних сталевих оболонках виявила наступні переваги:

- відпадає необхідність використання зв'язок при пресуванні шихти карбідосталі;

- у технологічному процесі відсутня операція видалення зв'язок перед обробкою тиском заготовок;

- виключається можливість забруднення карбідосталі залишками матеріалу зв'язок;

- використовується відомий у гарячому штампуванні фактор зниження зусилля штампування з підвищенням пористості вихідної заготовки.

На рисунку 1.3 представлені різці з карбідосталі для обробки деревини.

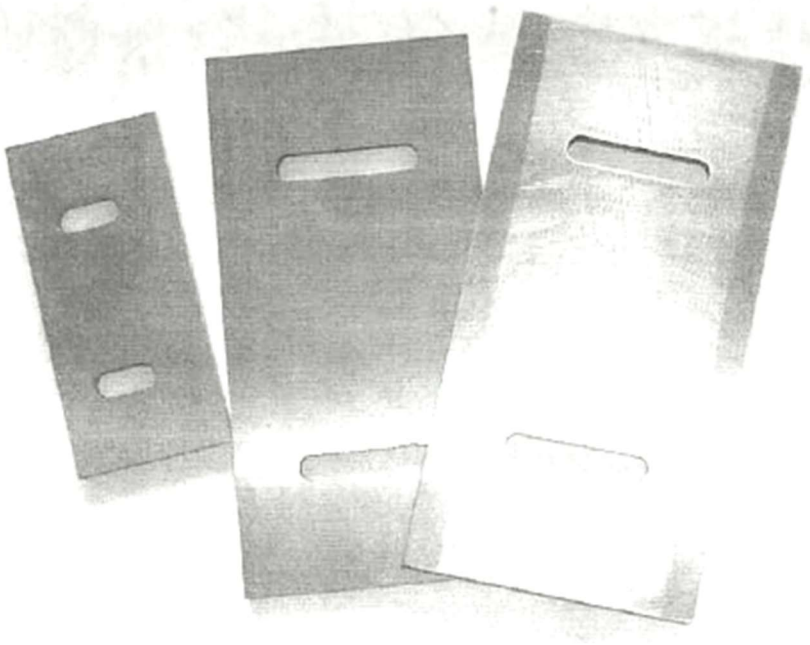


Рисунок 1.3 - Різці з карбідосталі для обробки дерева

Ці переваги зумовлюють доцільність постановки наукового завдання щодо отримання карбідосталі типу «швидкорізальна сталь - карбід титану» методом гарячого штампування. При цьому для досліджень можна використовувати порошок швидкорізальної сталі Р6М4ФЗКХ4.

1.4 Висновки

Номенклатура зносостійких конструкційних матеріалів дуже велика. Хоча порошкові карбідосталі з твердосплавною складовою TiC активно вивчаються та випробовуються, хоча прикладів промислового застосування.

поки що небагато. Тим не менш, карбідосталі дуже перспективні як зносостійкі матеріали для деталей машинобудівного призначення.

Технологія гарячого штампування зайняла міцне місце в отриманні матеріалів, що дозволяє з економічною вигодою забезпечити високу щільність та міцність виробів конструкційного призначення. Перспективність методів гарячого штампування для отримання карбідосталі доведена багатьма роботами. Доцільно встановити закономірності процесу гарячого штампування карбідосталі без використання технологічної операції попереднього спікання та на їх основі розробити технологію гарячого штампування зносостійких виробів конструкційного призначення.

Можна рекомендувати використання при гарячому штампуванні технічного прийому ущільнення порошку в пористій оболонці замість оболонок листової сталі.

Таким чином, метою цієї роботи є встановлення закономірностей впливу розмелювання порошкової сировини і термомеханічної обробки заготовок з неї на властивості карбідосталі «швидкорізальна сталь Р6М4ФЗКХ4 - карбід титану» і розробка на цій основі технології отримання конструкційних зносостійких виробів з неспеченого порошку в пористій оболонці.

РОЗДІЛ 2
МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Досліджувані матеріали

Для отримання конструкційних зносостійких карбідостілей у цій роботі використовуються порошки розпиленої швидкорізальної сталі Р6М4Ф3КХ4 і карбіду титану, отриманого карботермічним методом. В таблиці 2.1 представлені характеристики зазначених порошків.

Таблиця 2.1 - Характеристика досліджуваних порошків

Матеріал	Грануло-метричний склад	Насипна щільність, г/см^3	Плинність, г/с	При тиску 600 МПа	
				Ущільню-ваність, г/см^3	Формова-ність
TiC	Середній розмір частинок 5,6 мкм	1,43	Не тече	3,32	формується
Р6М4Ф3КХ4	+0315 - 87,0 +016 - 8,05 +0125 - 1,69 +008 - 0,7 +005 - 0,7 -005 - 0,2	4,62	12,4	5,60	не формується

2.2 Вибір обладнання

У розділі 1 було зазначено, що для отримання вихідних порошків для карбідосталі найперспективнішим методом є механічне розмелювання в млинах, що забезпечують отримання частинок близько 1 мкм. Одним з найбільш ефективних видів розмольного обладнання, що дозволяє досягти цього, є атритори. В таблиці 2.2 представлені дані, що показують переваги атритора перед іншими видами розмолювального обладнання.

Атритори - апарати для механічного подрібнення порошків за рахунок стираючої та ударної дії дрібних куль, зіткнення яких між собою та стінками робочої камери забезпечуються при обертанні вертикальної мішалки. При обертанні мішалки атритора в рух водиться вся маса куль, що знаходяться в

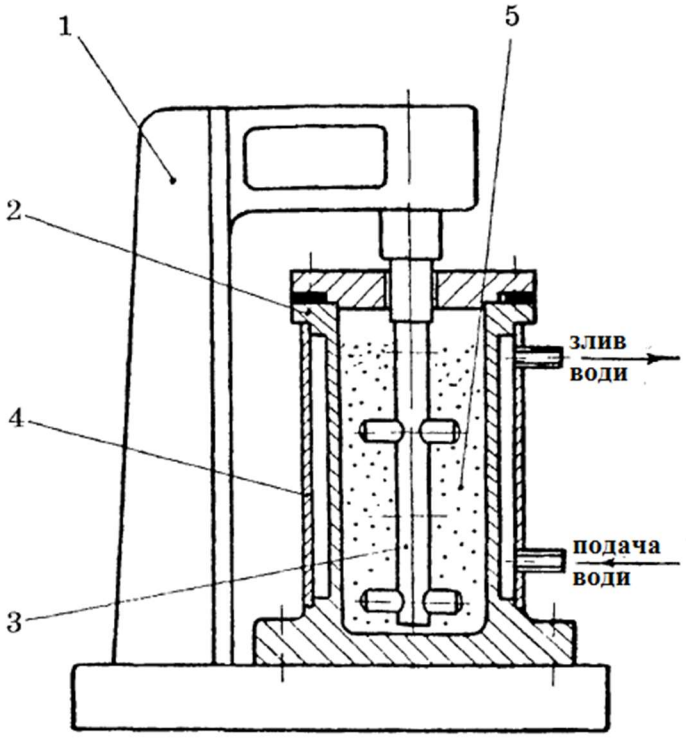
робочій камері, оскільки била мішалки розділені проміжками, що багато разів перевищують діаметр куль.

Таблиця 2.2 - Вплив способу та тривалості диспергування на розмір частинок та технологічні характеристики порошку нікель-цинкового фериту

Вибір помолу	Тривалість помола, годин	Питома поверхність порошка, $м^2/кг$	Густина утряски, $кг/см^3$	Насипна щільність, $кг/м^3$	Розмір частинок основної фракції, мкм	Вміст основної фракції, %
Атритор	0,07	1500	2,02	1,300	0,6	69
	0,17	2300	2,11	0,900	-	-
	0,32	4500	2,49	0,870	-	-
	0,50	5100	2,70	0,790	0,25	39
	1,0	6000	2,50	0,720	0,22	36
	2,0	6100	2,82	0,730	0,18	31
Вібромлин	0,07	800	1,71	1,295	1,5	52
	0,32	2700	2,22	1,232	-	-
	0,50	3450	2,32	1,060	0,40	45
	1,0	3800	2,66	0,810	-	-
	2,0	3900	2,59	0,850	0,32	36
Кульовий млин	0,07	210	1,55	1,400	5,2	35
	0,32	740	1,57	1,400	-	-
	1,0	1270	1,61	1,280	1,1	36
	2,0	1490	1,67	1,320	0,95	30
	4,5	1430	1,66	1,240	0,96	32
	2,4	1520	1,72	1,180	0,84	30
Ультразвуковий диспергатор	0,07	1010	1,79	1,330	1,2	54
	0,50	2950	1,88	0,900	0,44	29
	1,9	3410	1,81	0,940	0,42	31

Рух від мішалки передається у порівняно вузьких горизонтальних зонах, а решта куль наводиться в рух шляхом естафетної передачі імпульсів від куль у цих зонах. Таким чином, швидкості у всій масі куль розподілені вкрай нерівномірно, причому не тільки в радіальному напрямку, а й за висотою, що є необхідною умовою ефективної реалізації процесу механічного подрібнення. Це випливає із положення, що механічна дія на частинки порошку, між якими-небудь двома кулями, можлива лише в тому випадку, якщо вони рухаються з різною швидкістю.

Схема атритора представлена на рисунку 2.1.



1 - стійка; 2 - робоча камера; 3 - мішалка з поперечними стрижнями; 4 - кожух водяного охолодження; 5 - порожнина камери з розмеленими кулями, шихтою та розмольною рідиною

Рисунок 2.1 – Схема атритора

Особливість руху куль у камері полягає в тому, що вони переміщаються практично в постійному контакті один з одним, тому ймовірність прямих зіткнень куль набагато менше ймовірності тангенціального відносного руху контактуючих один з одним тіл, що володіють різними швидкостями. Тому на частинки порошку, що знаходяться між кулями, діє зусилля, що стирає й призводить до руйнування крихких і деформації пластичних частинок, утворення ювенільних ділянок на їх поверхні та навіть схоплювання частинок у зоні контакту. Цю особливість процесу подрібнення використовують при механічному легуванні порошкових матеріалів.

Атритори застосовують, в основному, для подрібнення крихких та пластичних матеріалів до дисперсного та дрібнодисперсного станів.

Подрібнення в атриторах проводиться у рідких середовищах чи захисних атмосферах. Атритори відрізняються безпекою в роботі, високою економічністю, легкістю автоматизації та обслуговування, простотою конструкції. Виготовляють атритори із граничною ємністю робочих камер до 1,2 $м^3$ та потужністю до 90 кВт.

Щодо операцій змішування порошків, пресування шихт, нагрівання заготовок, гарячого штампування, використовували серійне промислове обладнання.

2.3 Дослідження властивостей порошків

Дослідження фізичних та хімічних властивостей проводили відповідно до міжнародних стандартів ISO, державних стандартів, за відсутності стандартів - за загальноприйнятими методиками.

Порошки – це дисперсні утворення. З поняттям дисперсності порошку нерозривно пов'язані такі характерні властивості, як розмір та форма частинок.

Розмір частин. Вихідний металевий порошок із швидкорізальної сталі зазвичай містить частинки з розмірами понад 45 мкм, порошок TiC - з розмірами близько декількох мікронів (1-15 мкм). Для визначення фракційного складу порошку Р6М4ФЗКХ4 у вихідному стані використовували методику відповідно до стандарту ISO, засновану на методі сухого просіювання порошку на ситах. Для визначення фракційних складів розмелених порошків з частинками розміром менше 40 мкм у роботі застосовано лічильний метод дослідження. Порошки металеві. Визначення величини частинок), на основі якого працює аналізатор зображень.

Міцність. При дослідженні міцності малопластичних та крихких порошкових матеріалів, зокрема композиційних, якими є карбідосталі, проводять випробування на поперечний розрив (вигин), оскільки абсолютна деформація при згинанні (прогин) більше, ніж при розтягуванні, а також на ударну в'язкість.

Твердість. В даний час діє стандарт, що визначає методи вимірювання твердості спечених металевих матеріалів, не підданих термообробці та матеріалів після термообробки з рівномірною. твердістю на глибині щонайменше 5 мм від поверхні.

Характеристики пружності та пластичності. Пружно-пластичні характеристики матеріалів характеризують такі показники як твердість (за Меєром або Віккерсом), модуль Юнга, пластичність. Протягом багатьох років для оцінки пружно-пластичних властивостей матеріалів використовується метод твердості та мікротвердості. Для особливо твердих і крихких матеріалів в даний час розроблено метод локального навантаження жорстким індентором, проте різні дослідники вносять свої особливості, пов'язані з формою та розмірами індентора, умовами навантаження тощо.

2.4 Висновки

Для розмелювання порошків з твердих і тендітних матеріалів найбільш ефективним є метод розмелювання в атриторі. Спроектовані, виготовлені та рекомендовані для дослідницьких цілей атритори з обсягом робочих камер 0,5; 1,0 та 3,0 л зі швидкостями обертання мішалок від 600 до 1200 $хв^{-1}$.

Для дослідження пружно-пластичних властивостей карбідосталі доцільно використовувати метод локального навантаження жорстким індентором.

РОЗДІЛ 3
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАРЯЧЕШТАМПОВАНОГО МАТЕРІАЛУ

Структура карбідосталі значною мірою залежить від методу їх виготовлення. Промислові карбідосталі на основі швидкорізальних сталей виготовляють за технологією рідкофазного спікання. Технологічний процес передбачає формування пористої заготовки із заздалегідь приготовленої шихти «сталь - карбід» та рідкофазне спікання заготовок у виріб. Щоб виявити особливості структури досліджуваної в цій роботі штампованої карбідосталі, доцільно провести її порівняння зі спеченою карбідосталю.

Нижче розглянемо особливості структуроутворення штампованої карбідосталі на всіх стадіях технологічного процесу - отримання порошку швидкорізальної сталі, нагрівання під штампування, гаряче штампування, термообробка.

3.1 Фазовий та елементний склад порошку швидкорізальної сталі

Порошок швидкорізальної сталі Р6М4ФЗКХ4 отримано методом розпилення розплаву нейтральним газом (азотом), що зумовило низький вміст кисню в порошку. Перед розпорошенням розплав пройшов так звану термочасову обробку (ТЧО), яка полягає в перегріві розплаву па 350 - 400 °С вище температури ліквідуса. При цьому чим вище швидкість затвердіння металу, тим яскравіше виражені зміни в застиглому металі. Ефективність ТЧО визначається не поступовим досягненням рівноважного стану розплаву внаслідок тривалих витримок, а нагріванням до температур, за яких відбувається перебудова ближнього впорядкування.

Саме після таких структурних змін розплав здатний певний час зберігати ближній порядок до температури розпилення. Для отримання бездендритної структури порошків та поліпшення механічних та технологічних властивостей сталі типу Р6МК (сталь Р6М4ФЗКХ4 близька до

неї за хімічним складом) її розплав необхідно перегрівати до температури 1800 °С, причому без проведення витримки за максимальної температури. Після цього температура нагрівання знижується, і розпилення проводиться за температури 1550 °С.

Значний вплив на фазовий склад порошку, морфологію та розподіл у ньому карбідів надає зміна швидкості охолодження розпилених частинок. За літературними даними, для порошків швидкорізальних сталей за складом, що наближаються до досліджуваного та отриманих без ТЧО, в частках порошків великих фракцій - 1000-630 мкм (швидкість охолодження 10 °С/с) аустеніт і мартенсит існують приблизно в рівних кількостях, і при цьому присутні переважно карбіди легуючих елементів M_2C, MC і невелика кількість M_6C. В обсязі зерна рівномірно розподілені дисперсні вторинні карбіди, які значно дисперсніші, ніж у литій сталі.

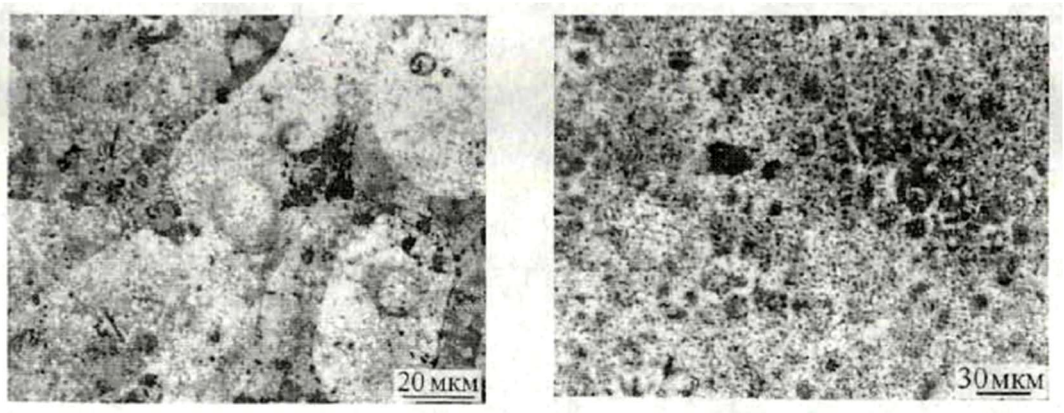
У структурі частинок 630 - 400 мкм крім мартенситу та аустеніту спостерігаються карбіди M_2C, MC та M_6C. По межах аустенітних зерен також утворюються колонії дисперсних карбідів пластинчастої форми M_2C та MC. Подальше збільшення швидкості охолодження (фракція 400 – 315 мкм) пригнічує утворення карбіду M_6C. Частинки порошку розміром 100 мкм і менш кристалізуються при швидкості охолодження приблизно 10^5 °С/с, у цих фракціях крім аустеніту та мартенситу утворюються карбіди MC і M_2C. Електронно-мікроскопічне дослідження показує, що дуже дрібне аустенітне зерно розміром 1-3 мкм оточене дисперсними карбідами зернистої форми.

Як було зазначено, промислові порошки швидкорізальних сталей одержують без ТЧО розплаву. Партія досліджуваного порошку була виготовлена на дослідно-промисловій установці. Порошки отримані після застосування ТЧО розплаву та температурі розпилення 1550 °С. Розпорошені частинки охолоджувалися азотом, температура якого становила 10-30 °С. Розміри частинок були менше ніж 0,63 мм.

Для визначення фазового складу швидкорізальної сталі безпосередньо після розпилення та після відпалу виготовляли заготівку розміром 100 х 150

мм. Висота заготовок становила 35 – 40 мм. Пориста заготовка формувалася в керамічній виливниці, підставленій під потік розпилених частинок. Пористість заготовки становила 12 - 15%.

Нагріті частинки у виливниці зрощувалися між собою (рисунок 3.1).



а) б)

а - зрощені частинки,

б - зерниста структура зрощених частинок

Рисунок 3.1 - Мікроструктура часток швидкорізальної сталі Р6М4ФЗКХ4, що знаходяться у виливниці

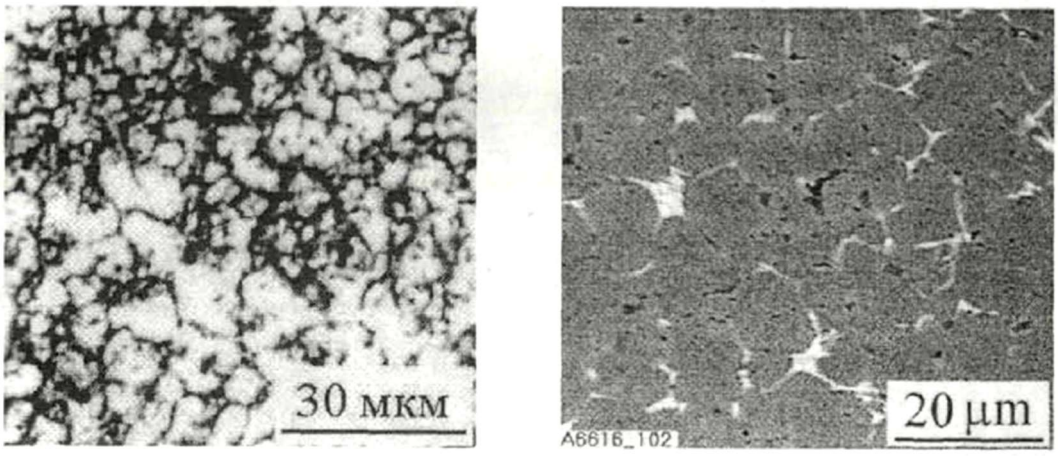
При виготовленні шліфів для фазового аналізу застосовували лише операцію шліфування, оскільки полірування поверхні зразка могло призвести до зміни фазового складу досліджуваних поверхневих шарів швидкорізальної сталі.

Фазовий аналіз показав, що кількість фериту становила 33,39 – 33,67 % (менші значення у верхній частині заготовки), відповідно кількість аустеніту становила 66,02 – 61, 33 %.

Фазовим аналізом не вдалося виявити карбідні фази. При формуванні частинок в результаті розпилення рідкого струменя металу відсутні умови для утворення будь-яких карбідних фаз. За рахунок високої швидкості охолодження частинок металу карбідні евтектики не встигають утворитися, карбідна ліквація відсутня (рисунок 3.2, а). Разом з тим, у верхній частині

зразка (на відстані 30 мм від днища виливниці) була отримана структура з характерною ліквацією елементів (W, Mo і Cr) (рисунок 3.2, б). Світлі ділянки, збагачені легуючими елементами, за морфологією відповідають карбідним складникам. Однак фазовим аналізом карбідна фаза не виявляється, очевидно, через її занадто невелику кількість.

Таким чином, зміни у структурі порошкового матеріалу визначаються температурним режимом охолодження порошку. Швидкість охолодження повинна позначатися і на величині зерна матеріалу частинок. Величину зерна визначали металографічним аналізом з використанням світлового мікроскопа, що забезпечує збільшення від 50 до 2000 разів. Спостереження шліфів, протруєних 3,0 - 4,0% розчином азотної кислоти в етиловому спирті з добавкою пікринової кислоти, що здійснювали у світловому полі при прямому освітленні.



а) б)

а - на відстані від днища виливниці 5 мм,

б - на відстані від днища виливниці 30 мм

Рисунок 3.2 - Структура частинок сталі Р6М4ФЗКХ4 за висотою заготовки

В структурі металу різних частинок спостерігається структурна неоднорідність, що є наслідком зміни швидкості охолодження металу.

Заготовка із зрощених частинок піддавалася пом'якшувальному відпалу. Відпал проводили у вакуумній печі за режимом, що застосовується для порошків швидкорізальних сталей, призначених для виготовлення виробів спіканням та обробкою тиском спечених заготовок. Заготовки зі зрощених частинок спочатку нагрівали до температури 900 °С, витримували при цій температурі 3 години, охолоджували з піччю до 150 °С, потім нагрівали до 750 °С, витримували 1,5 години, охолоджували до 150 °С знову нагрівали до 750 °С, витримка 1 год. Мікроструктура частинок сталі після відпалу показана на рисунку 3.3. Спостерігається дисперсна структура з розривною сіткою карбідних фаз.

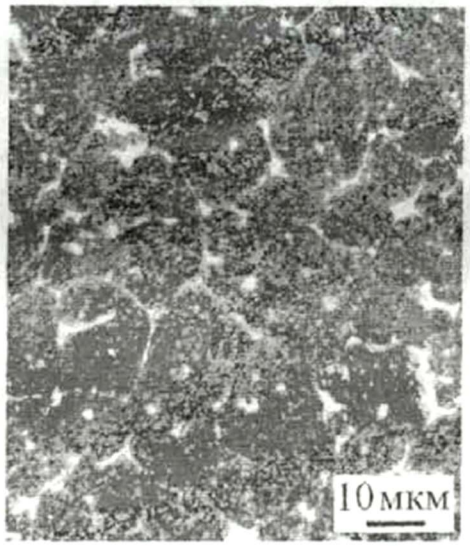


Рисунок 3.3 - Мікроструктура частинок сталі Р6М4ФЗКХ4 після відпалу

Структура сталі відповідає сорбіту. У металі - основі містяться дві фази: ферит (~ 98 об. %) та аустеніт (~ 2 %).

3.2 Структуроутворення при нагріванні (спіканні) порошкової заготовки карбідосталі

Заготовки під штампування виготовляють пресуванням порошкової шихти.

Як було показано раніше, суміш порошків швидкорізальної сталі Р6М4ФЗКХ4 і карбіду титану не формується, і тому в шихту підмішують пластифікатор, що володіє клеючими властивостями. У нашій роботі як пластифікатор використаний розчин синтетичного каучуку в бензині.

Пластифікатор додавали шихту в кількості 1,5% (мас). Застосовуваний тиск пресування становив 200 МПа.

Спікання отриманих пресувань є завершальною стадією одержання карбідосталі. Нагрівання (спікання) проводять у вакуумних печах при температурах, при яких утворюється рідка фаза, що сприяє активному ущільненню (усадці) спікаємого матеріалу. Вміст TiC у карбідостілях варіювався від 5 до 50 % (об.). Було відзначено, що внаслідок дифузійної взаємодії сталевої та карбідної фаз, відбувається зневуглецювання металевої фази в процесі спікання та стабілізація α-фериту. Найактивніше зневуглецювання відбувалося за менших величин вмісту TiC, внаслідок чого сталева складова не гартувалася.

У роботі спікання спресованих заготовок із шихти досліджуваної карбідосталі здійснювали у дві стадії: на першому етапі в аргоні видаляли зв'язку при 850 - 950 °С протягом 1,5 години, а остаточне спікання проводили у вакуумі при 1280 °С - температурі, що застосовується в промисловому виробництві виробів з карбідостілей типу «швидкорізальна сталь - карбід титану».

Етап спікання у твердій фазі після досягнення температур 900 - 1000 °С характеризується початком процесу зрощення частинок карбіду титану в агломерати, проте процеси коалесцепсії значного розвитку не одержують, оскільки відомо, що температура початку активного рекристалізаційного зростання зерен порошкового TiC становить зазвичай не нижче 1500-1600 °С. Недостатня міцність агломератів карбіду титану – один із недоліків рідкофазного спікання при знижених температурах.

Температурна зона рідкофазного спікання карбідосталі характеризується складними фізико-хімічними процесами взаємодії, що

відбуваються, головним чином, на контактних поверхнях частинок. Поява рідкої фази при спіканні карбідосталі «швидкорізальна сталь карбід титану» виявляється вже при температурі 1130 - 1140 °С. Рідина, що утворилася, заповнює капіляри заготовки і кристалізується. Це пов'язано з витрачанням вуглецю евтектики на відновлення оксидів та розчинення в рідкій фазі заліза. Утворення рідкої фази при 1130 °С відбувається за рахунок навуглецювання заліза внаслідок дифузії вуглецю з контактуючих сталлю зерен TiC. Вільний вуглець, який вноситься в композицію карбідом титану, не може бути джерелом дифузії, оскільки він розчиняється в аустеніті тільки при 1200 - 1220 °С.

З підвищенням температури спікання та вмісту вуглецю в рідкій фазі утворюються прошарки зі структурою ледебуридної евтектики, а власне склад рідкої фази може змінюватися з часом витримки за рахунок розчинення менш стійких карбідів та утворення нових карбідів, більш стійких за умов контакту з рідкою фазою. При спіканні порошкової сталі до складу прошарків закристалізованої рідкої фази входять хром, ванадій, залізо та їх карбіди.

Ізотермічна витримка при температурі 1280 °С зазвичай призводить до рівномірного розподілу рідкої фази за обсягом зразків.

Мікроструктура спеченої карбідосталі показує, що зерна TiC розташовуються переважно за межами зерен матриці та створюють відносно грубодисперсну сітчасту структуру (рис. 3.4).

Середній розмір зерна TiC становить близько 1,8 мкм, а зерен матриці 13 мкм.

Навколо зерен карбіду титану утворюється кільцева зона (рис. 3.5).

Якісна оцінка елементного складу шляхом мікрорентгеноспектрального сканування площею шліфів отриманих зразків показала, що в досліджуваній карбідосталі, отриманої спіканням у присутності рідкої фази, кільцева зона збагачена ванадієм, вольфрамом та молібденом (рис. 3.6).

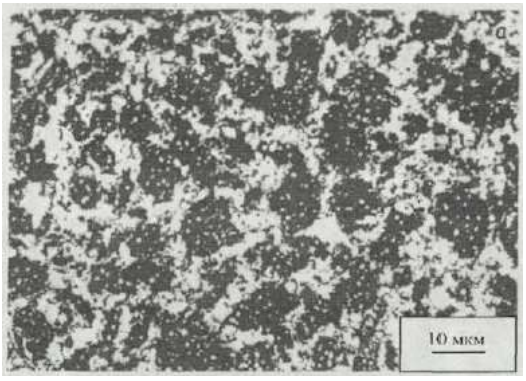


Рисунок 3.4 - Мікроструктура спеченої при 1280 °С карбідосталі Р6М4ФЗКХ4 - 20% TiC

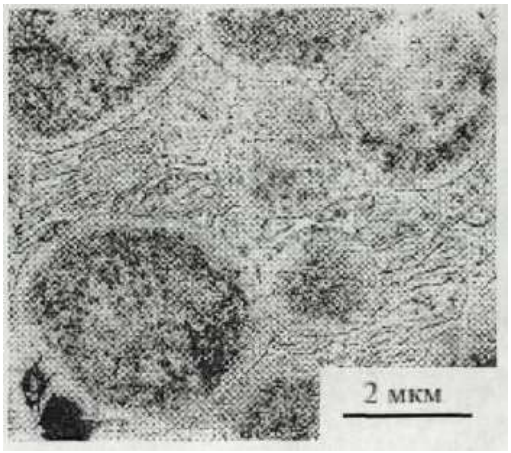


Рисунок 3.5 - Кільцеві зони навколо зерен TiC у карбідосталі, спеченій при 1280 °С



а) б) в)

а - ванадія, б - вольфраму, в - молібдену (х3000)

Рисунок 3.6 - Розподіл елементів у спеченій карбідосталі; зображення в характеристичному рентгенівському випромінюванні

Можна стверджувати, що найімовірніше кільцева зона є складними карбідами, утворення яких відбувається за рахунок вуглецю карбіду титану. Мікротвердість такого роду карбідів може досягати понад 30-10 МПа.

Рентгенофазовий аналіз показав, що зневуглецьована швидкорізальна сталь (метал-зв'язка) після спікання є ферито-цементитною сумішшю з включеннями карбідів і традиційних для швидкорізальних сталей карбідів типу (Fe,V,W)C, що утворилися в результаті евтектоїдного розпаду аустеніту.

На підставі представлених результатів дослідження процесу рідкофазного спікання карбідосталі типу «швидкорізальна сталь - карбід титану» слід відзначити наступні недоліки:

- металева складова композиту зневуглецюється, що ускладнює реалізацію термічної обробки карбідосталі;

- у зернах карбіду титану зменшується вміст вуглецю, що знижує твердість включення;

- тверда та тендітна кільцева зона є найбільш ймовірним місцем зародження тріщин у процесі експлуатації зносостійких виробів з карбідосталі.

3.3 Вплив режимів термообробки на структуру карбідосталі

Карбідосталі, як леговані сталі, піддають усім видам термічної обробки - відпалу, загартування та відпустки. Нагрівання під термообробку здійснюють в електропечах у відновлювальному або нейтральному (азот, аргон) середовищі.

Для зниження твердості карбідосталі, щоб їх можна було піддавати механічній обробці проводиться відпал. Досліджувану штамповану карбідосталь піддавали відпалу за режимом, який застосовується в промисловому виробництві карбідосталі типу Р6М5К5 - TiC.

Заготовки пакувалися в чавунну стружку. Режим відпалу: нагрів до 850-860 °С, витримка 3 год, охолодження до 730-740 °С зі швидкістю 20–30 °С/год, витримка 5 год, охолодження до 600 °С зі швидкістю

30-40 ° С/год, охолодження з піччю до 300 ° С, далі на повітрі. Мікротвердість металевої фази композиту після відпалу становила в середньому 3460 МПа. Макротвердість зразків становила 40-44 $HRC_Э$.

За даними рентгеноструктурного аналізу після відпалу структура є переважно легованим аустенітом.

Для вивчення впливу зміцнюючої термообробки на досліджувану карбідосталь зразки гартували від 1180, 1200 і 1220 °С. Щоб запобігти зневуглецюванню зразки покривали графітовою емульсією, нагрів під загартування здійснювали у захисному середовищі (азот). Витримка після нагрівання становила 1 хв на 1 мм товщини зразка.

Результати дослідження показали, що зі зміною температури загартування твердість карбідосталі практично не змінюється. Є тенденція до зниження твердості за нормальної температури 1220 °С (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 - Вплив температури загартування на твердість карбідосталі

При температурах загартування 1180 - 1200 °С структура металевої складової практично однакова - мартенсит з невеликою кількістю залишкового аустеніту. Зниження твердості за найвищої температури загартування можна пояснити зростанням кількості аустеніту, що може відбуватися внаслідок розчинення карбіду титану та збиральної рекристалізації.

Зазвичай для збереження високої твердості, що досягається загартуванням, карбідосталі піддають низькотемпературній відпустці. Практика показує, що зі збільшенням температури відпустки твердість карбідосталі знижується.

Численними дослідженнями встановлено, що раціональними температурами відпустки швидкорізальних сталей є 520-560 °С. Час витримки сталей при цих температурах має становити 1 годину. При цьому структура представлена мартенситом з незначною кількістю залишкового аустеніту та карбідами. Стійкість залишкового аустеніту дуже велика через високу його легованість, яка зростає з підвищенням температури загартування внаслідок збільшення концентрацій вольфраму, молібдену і хрому. Ця обставина змушує застосовувати багаторазову відпустку.

Позитивний вплив багаторазової відпустки (двох-триразової для вольфрамомолібденових сталей) полягає в тому, що перша відпустка знімає напруги, що утворилися при загартуванні; це має підвищувати міцність та в'язкість. Однак мартенситне перетворення аустеніту при охолодженні викликає нові напруження, що погіршує механічні властивості. Друга відпустка знімає напруги, що утворилися при першій відпустці, але викликає нові (хоча і менше) за рахунок перетворення додаткових порцій аустеніту, які практично знімаються повністю при третій відпустці. На рисунку 3.8 представлені результати, отримані під час відпустки загартованих зразків при температурах 520, 540 та 560 °С.

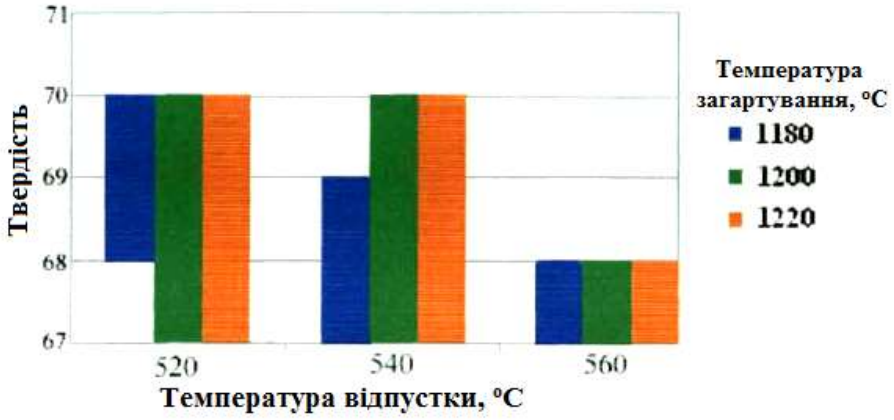


Рисунок 3.8 - Вплив температури відпустки на твердість карбідосталі

У процесі відпустки дисперсійного твердіння немає, і твердість мало змінюється. Максимальну твердість при всіх температурах загартування мали зразки, відпущені при 520 °С.

Слід зазначити, що вироби з карбідосталі після термічної обробки практично зберігають свої лінійні розміри. Максимальна зміна лінійних розмірів становить лише 0,05%.

3.4 Механічні властивості карбідосталі

Дослідження фізичних властивостей (щільності, твердості) карбідосталі, виготовлених за різними технологіями (таблиця 3.1), показало, що міцнісні властивості (міцність, ударна в'язкість) штампованої загартованої карбідосталі перевищують властивості спечених та екструдованих карбідосталій.

Дані про властивості спечених та ектрудованих карбідостали наведені за літературними даними [15].

Таблиця 3.1 - Фізико-механічні властивості карбідосталі із вмістом TiC 20%

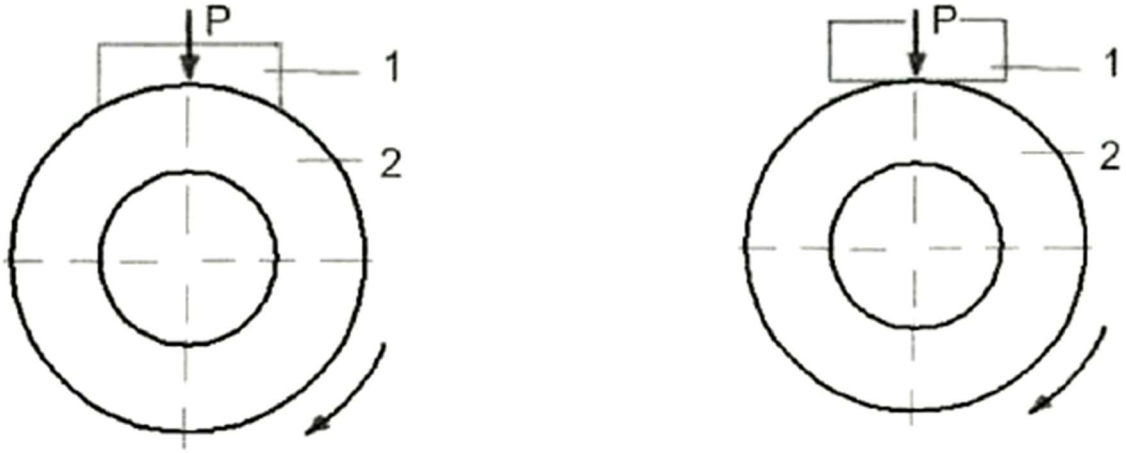
Технологія виготовлення	Щільність, г/см^3	Твердість	Міцність на вигин, МПа	Ударная Вязкость, кДж/м^2
Гаряча штампування t = 1180 °С	6,97	68-70 HRC	1740-1760	43-45,6
Рідкофазне спікання t = 1280 °С	7,11	68-70 HRC	1650-1660	23,1-26,7
Гаряча екструзія t = 1150 °С	7,14	88-89 HRC	1400-1700	30-40

Усі сталі мали близькі значення щільності (відрізняються на 1-2%) та твердості. Загартування карбідосталі вироблялося від температури 1180-1200 °С в олію.

Що ж до механічних характеристик, то вплив технології вагомий. Найвищими значеннями міцності та ударної в'язкості має гарячоштампована карбідосталь. Це пояснюється значним подрібненням зерна. У гарячештампованій карбідосталі розмір зерна матричної швидкорізальної сталі становить 1,7 мкм, у той час як у спеченій 13 мкм.

3.5 Зносостійкість карбідосталі

Зносостійкість карбідосталі, як і твердість матеріалу, мало залежить від технології її отримання. Для дослідження була використана універсальна машина тертя, яка дозволяла провести випробування за схемою контакту по циліндричній поверхні (схема I) та за «лінійним» контактом (схема II) (рисунок 3.9). Зазвичай випробування проводять за схемою I. Схема II застосовується для оціночних випробувань.



а) б)

1 - випробуваний зразок; 2 - контртіло

а - схема I - контакт циліндричної поверхні; б - схема II - лінійний контакт

Рисунок 3.9 - Схеми випробування зносостійкості карбідосталі

У таблиці 3.2 наведено результати випробувань на знос гарячештампованої та спеченої карбідосталі однакового хімічного складу за схемою I. Випробування проводили за схемою при сухому терті та швидкості

ковзання 1 м/с. Як контртіло використовували загартовану швидкорізальну сталь з твердістю 60 HRC.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики зносостійкості

Матеріал	Навантаження, кг	Питоме навантаження, МПа	Ваговий знос, мг/км		Лінійний знос зразка, мкм/км
			зразок	контртіло	
Гарячештампована карбідосталь, після загартування	5	1	0,28	4,1	0,6
	10	2	0,40	6,0	1,0
	15	3	0,51	7,0	1,1
	20	4	0,84	9,4	2,0
Спечена карбідосталь після загартування	5	1	0,32	4,0	0,7
	10	2	0,49	6,0	1,1
	15	3	0,62	7,6	1,4
	20	4	1,04	9,5	2,5

З аналізу отриманих даних видно, що зносостійкість карбідосталі, отриманої штампуванням і запеченої заготовки, на 21% вище, ніж у карбідосталі, отриманої спіканням. Це можна пояснити більшою міцністю закріплення карбідних включень у сталевий матриці.

Було проведено оцінку зносостійкості досліджуваної гарячештампованої карбідосталі за схемою II при навантаженнях 5-11 МПа. Зношування зразка залишалося в тих же межах, що при застосуванні схеми I (0,44 - 0,80 мг/км).

Таким чином, враховуючи результати випробувань гарячештампованої карбідосталі на міцність та зносостійкість, її можна рекомендувати до використання замість аналогічних за хімічним складом спечених та екструдованих карбідосталей.

3.6 Висновки

На етапах відпалу порошку швидкорізальної сталі Р6М4ФЗКХ4 та подальшого отримання карбідосталі виявлено карбіди складного складу. У матеріалі-основі зберігається вуглець, що забезпечує загартованість карбідосталі.

Вивчено структуру карбідосталі, штампованої в оболонках при температурі 1180°С. Показано, що як і в карбідосталі іншого походження досягнута відносно рівномірна дисперсність. Формування мікроструктури гарячештампованої карбідосталі, як і в спечених сталях, визначається утворенням евтектики, яка складається, в основному, з карбідів легуючих елементів швидкорізальної сталі, проте при цьому відсутня їх дифузійна розчинність у карбіді титану.

Встановлено, що гарячештампована сталь має текстуру зерен металу-основи в напрямку, перпендикулярному до зусилля штампування.

Особливістю структури гарячештампованої сталі є відсутність кільцевої зони навколо карбідного зерна, як це має місце у спеченій карбідосталі, внаслідок дифузійної взаємодії легуючих елементів з карбідом титану. У карбідному зерні зберігається хімічний склад, що забезпечує високу твердість як карбідних включень, так і матеріалу загалом. Це сприяє збільшенню зносостійкості штампованого матеріалу порівняно зі спеченим.

Визначено пружно-пластичні характеристики, фізико-механічні властивості (щільність, твердість, міцність на вигин, ударна в'язкість) штампованої загартованої карбідосталі та її зносостійкість. Досліджені властивості гарячештампованої сталі перевищують аналогічні властивості спечених та екструдованих карбідосталей.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії

Представлені дослідження в даній магістерській роботі засновані на використанні засобів обчислюваної техніки, тому вся необхідна апаратура знаходиться на автоматизованих робочих місцях (АРМ) лаборантів хімічної лабораторії. В процесі роботи з системою на працівників можуть впливати наступні шкідливі виробничі фактори:

- шум на робочому місці;
- електромагнітне випромінювання;
- відсутність або нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;
- наявність напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло людини;
- психофізіологічні фактори – розумове перенапруження, напруження зору і уваги, емоційні та довготривалі статичні навантаження.

Штучне освітлення в приміщеннях здійснюється системою загального рівномірного освітлення. До загального освітлення додатково можуть бути встановлені світильники місцевого освітлення. Для виключення засвічування екранів моніторів прямими світловими потоками світильники загального освітлення встановлюють з боку від робочого місця, паралельно лінії зору оператора і стінці з вікнами. В якості джерел світла при штучному освітленні повинні використовуватись переважно люмінесцентні лампи,наприклад лампи ЛБ-80. В світильниках місцевого освітлення допускається використання ламп накалювання.

При виконанні основної роботи на комп’ютері рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 50 дБА. Знизити рівень шуму в приміщеннях можна за рахунок використання звукопоглинаючих матеріалів з

максимальним коефіцієнтом звукопоглинання в області частот 63-8000Гц для обшивки приміщень.

АРМ по вибухонебезпечній і пожарній небезпеці відповідають категорії Б і мають ступінь вогнестійкості II. Для тушіння пожарів в приміщеннях АРМ використовуються вуглекислотні вогнегасники ОУ-2 та ОУ-5, перевагами яких є діелектричні властивості вуглекислоти і збереженість електронного обладнання.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника лабораторії представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника лабораторії

№ п/п	Найменування чинників	Джерела їх виникнення	Характер дії
1	Наявність шуму, вібрацій	Принтер	Негативно позначається на органах слуху. Підвищує стомлюваність
2	Недостатня освітленість	Стан систем природного і штучного освітлення	Шкодить органам зору
3	Несприятливий мікроклімат	Стан систем опалювання і вентиляції	Страждають дихальні шляхи, шкірні покриви
4	Електромагнітне випромінювання, у тому числі рентгенівське випромінювання	Монітор ЕОМ, системний блок, електропроводка живлячої мережі ЕОМ	Шкодить всьому організму. Вірогідність онкозахворювань
5	Фізична втома	Перенапруження зорового аналізатора, статичність і незручність пози	Розвиток кістково-м'язових захворювань
6	Пожежонебезпечність приміщення	Наявність горючих матеріалів і джерел спалаху	Гіпотетична небезпека опіків
7	Статична електрика	Діелектрична поверхня екрану дисплея, ЕПТ	Можливий електричний удар

Продовж. табл. 4.1

8	Іонізація повітря	Рентгенівське випромінювання і статична електрика	Порушення кисневого балансу
9	Висока електрична напруга, 380/220В	Струмопровідні частини ПК, що живить мережу ЕОМ, роз'єми	Небезпека ураження електричним струмом
10	Нервово - психічні перенавантаження	Складність роботи, що виконується	Підвищена стомлюваність
11	Статичне навантаження	Постійна робоча поза	Захворювання опорно-рухового апарату
12	Перенапруження зорового аналізатора	Особливості технологічного процесу	Розвиток захворювань очей
13	Емоційні навантаження	Особливості технологічного процесу	Стрес

Роботи операторського типа виконуються сидячи і відносяться до категорії 1а - легка фізична робота.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Мікроклімат – це метеорологічні умови навколишнього середовища, які визначаються діючими на людину сполученнями:

- температурою навколишнього середовища;
- показником відносної вологості;
- швидкістю руху повітря;
- інтенсивністю теплового випромінювання.

Тривала дія на людину несприятливих метеорологічних умов погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці і часто призводить до різних захворювань. Метеорологічні умови вибираються відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005 – 88, виходячи з категорії тяжкості робіт, періоду року.

Оптимальні норми температури, відносній вологості, швидкості руху повітря в приміщенні і категорія робіт в холодний і теплий період року наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Допустимі і оптимальні значення параметрів метеорологічних умов

Категорія робіт за тяжкістю	Період року	Температура, °С	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря в приміщенні м/с
Допустимі значення параметрів				
1а	Холодний	19-25	75	не більше 0,1
1а	Теплий	21-27	55	0,1-0,2
Оптимальні значення параметрів				
1а	Холодний	22-24	40-60	0,1
1а	Теплий	23-25	40-60	0,1

В період роботи за дисплеєм здійснює інтенсивний вплив електромагнітне випромінювання, яке може стати причиною професійних захворювань. Комп'ютери потрапляють за визначенням в 5 - й діапазон (низькі частоти).

Основним джерелом електромагнітного випромінювання, у тому числі рентгенівського, в приміщенні є електронно - променеві трубки (ЕПТ) моніторів. Згідно ДНАОП 0.00 -1.31-99 потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання трубки в будь - якій точці перед екраном на відстані 5 см від його поверхні не повинна перевищувати 100 мкР/год.

Заходами захисту від випромінювання є :

- використання моніторів з вбудованими захисними екранами;
- регламентовані перерви при роботі з комп'ютером на 15 хвилин, через

кожних 2 години безперервної роботи.

Засоби захисту від статичної електрики:

- вживання захисних екранів із заземленням;
- вживання спеціальних екранів (вбудованих) з провідним антистатичним покриттям (струмопровідні);
- підтримка відносної вологості в приміщенні на рівні (55 – 65)%;
- своєчасне провітрювання;
- використання антистатичних покриттів на підлогах (лінолеум),

натуральний натільний одяг.

До заходів захисту від іонізуючого рентгенівського випромінювання відносяться:

- використання внутрішнього металевого корпусу монітора;
- обмеження часу безперервного знаходження перед монітором – не більше 4 годин;
- не розміщувати ВДТ концентровано в робочій зоні.

При роботі монітора утворюються змінні електромагнітні поля.

До заходів захисту від електромагнітних випромінювань відносяться:

- захист відстанню (відстань від передньої частини монітора має бути 1,5 м, від задньої частини 2 м);
- захист часом (не більше 4годин);
- може вбудовуватися захисний екран, на який замикається металевий корпус, що забезпечує низьку радіацію, тобто зниження характеристик електромагнітних полів до фонових значень вже на відстані 5-7 см від екрану;
- у моніторі встановлюються спеціальні елементи (компенсаційні котушки або екрануючі кільця із спеціального сплаву з високою магнітною проникністю, які розташовують довкола системи, що відхиляє, або елементів рядкової розгортки);
- необхідно також дотримувати правила організації робочого місця.

Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 і ДНАОП 0.03-3.14-85 в приміщеннях обчислювальних центрів рівні звуку та еквівалентні рівні звуку не повинні перевищувати 50 дБА. Захистом від шуму в приміщенні можуть служити кришки на принтері, зменшити шум можна також відстанню, за допомогою установки перебірки, ізоляцією принтерів в інші приміщення.

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці, благотворно впливає на виробниче середовище, надаючи позитивну психологічну дію на працюючого, підвищує безпеку

праці та знижує травматизм. Недостатність освітлення призводить до напруги зору, ослабляє увагу, призводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає засліплення, роздратування і різь в очах, неправильний напрям світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски,дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до нещасного випадку на виробництві або профзахворювань.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,3 – 0,5 мм) величина коефіцієнта природного освітлення повинна бути не нижчою 1,5 %, а при зоровій роботі категорії середньої точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,5 – 1 мм) величина коефіцієнта природного освітлення повинна бути не нижчою 1 %. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи, які попарно об'єднуються в світильники, та які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями.

Вимоги до освітленості в приміщеннях, де встановлені персональні комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт категорії високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована освітленість повинна складати 750 лк. При виконанні зорових робіт категорії середньої точності загальна освітленість повинна складати 200 лк, а комбінована освітленість повинна складати 300 лк.

4.3 Електробезпека

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики.

При проектуванні систем електропостачання, монтажі силового електроустаткування і електричного освітлення в будівлях і приміщеннях для ЕОМ необхідно дотримуватися вимог нормативно - технічній документація. Комплекс необхідних заходів з техніки безпеки визначається, виходячи з

видів електроустановки, її номінальної напруги, умов середи, типа приміщення і доступності електроустаткування.

Для забезпечення електробезпеки в електромережах лабораторії необхідно застосовувати їх електричне розділення. Електричний щит керування оснащують кнопкою аварійного вимикання. Обладнання вмикають послідовно від спільного вимикача до вимикачів кіл, що розгалужуються; останні в цьому випадку повинні бути вимкнені. Вимикають обладнання у зворотному порядку. Не дозволяється використовувати нестандартні запобіжники. Якщо помічено несправності в електромережі лабораторії, у тому числі і у випадку виходу з ладу електроламп, необхідно повідомити електрика.

ЕОМ є однофазним споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі із заземленою нейтраллю. АПК «Майстер» відноситься до електроустановок до 1000 В закритого виконання, всі струмопровідні частини знаходяться в кожухах. За способом захисту людини від ураження електричним струмом, ЕОМ і периферійна техніка повинні відповідати 1 класу захисту.

Передбачені такі заходи електробезпеки: конструктивні, схемно-конструктивні, експлуатаційні.

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою захисних оболонок і ізоляції струмоведучих частин. Ступінь захисту оболонки повинен відповідати класу пожежонебезпечної зони приміщення П-IIа

Схемно-конструктивні заходи призначені для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварії. У даному приміщенні в комп'ютерах застосовується занулення. Біля монітора передбачена подвійна ізоляція.

Експлуатаційні заходи. Необхідно дотримувати правила техніки безпеки при роботі з високою напругою і наступних запобіжних засобів:

- монтаж, обслуговування, ремонт і наладка ЕОМ, заміна деталей, пристосувань, блоків повинна здійснюватися тільки при повному відключенні живлення;
- заземлені конструкції приміщення мають бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику.

Виходячи з санітарних норм роботи лабораторій обчислювальної техніки її площа повинна бути визначена з умови 4,5-5 м^2 на одного лаборанта. В кабінеті повинна підтримуватись оптимальна температура 17-21°С, вологість 40-60 %.

4.4 Протипожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі та протипожежного захисту, у тому числі організаційно - технічними заходами.

Згідно з вимогою ГОСТ 12.1.004 -91 пожежна безпека забезпечується наступними заходами:

- системою запобігання пожежам;
- системою пожежного захисту;
- організаційними заходами щодо пожежної безпеки.

Запобігання пожежі досягається наступними заходами:

- запобігання утворенню горючого середовища;
- запобігання наявності в горючій середі джерел запалення.

Для зменшення небезпеки займання в горючому середовищі передбачено:

1) використання устаткування, відповідного класу пожежонебезпечної зони П –IIа: ступінь захисту електроапаратури має бути не менше IP-44, ступінь захисту світильників IP -23;
2) блискавко захист будівель, споруд і устаткування; для даного класу виробничих будівель класу пожежонебезпечної зони П-IIа і місцевості

з середньою грозовою діяльністю 20, тобто для умов м. Запоріжжя встановлено III категорію блискавкозахисту;

3) забезпечення захисту від короткого замикання (контроль ізоляції,використання запобіжників);
4) вживання заземлення захисного екрану для стоку статичної електрики.

У системі пожежного захисту передбачено аварійне відключення апаратів і комунікацій. Як сповіщення використовуються термоелектричні датчики диференціальної дії. При вибиранні засобу гасіння пожежі для забезпечення безпеки людини від можливості ураження електричним струмом в приміщенні передбачено використовувати вуглекислотний вогнегасник типа ОУ-5. У приміщенні знаходиться чотири вогнегасники оскільки, загальна площа приміщення-36м^2,а на кожних 20м^{2}призначається мінімум два вогнегасника. Вогнегасники знаходиться на видному і досяжному місці. При виникненні пожежі передбачена можливість повідомлення в пожежну охорону по телефону. Ступінь вогнестійкості будівлі – II.

4.5 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

До заходів щодо зменшення впливу на працівників ЕМП належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні. Організаційні заходи здійснюють органи санітарного нагляду. Вони проводять санітарний нагляд за об'єктами, в яких використовуються джерела електромагнітних випромінювань.

Інженерно-технічні заходи передбачають таке розташування джерел ЕМП, яке б зводило до мінімуму їх вплив на працюючих, використання в умовах виробництва дистанційного керування апаратурою, що є джерелом випромінювання, екранування джерел випромінювання, застосування засобів індивідуального захисту (халатів, комбінезонів із металізованої тканини, з виводом на заземлюючий пристрій). Для захисту очей доцільно використовувати захисні окуляри ЗП5-90. Скло окулярів вкрито

напівпровідниковим оловом, що послаблює інтенсивність електромагнітної енергії при світлопропусканні не нижче 75%.

Взагалі, засоби індивідуального захисту необхідно використовувати лише тоді, коли інші захисні засоби неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони опромінення підвищеної інтенсивності, при ремонтних і налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та при зміні інтенсивності опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій, погіршують гігієнічні умови.

У радіочастотному діапазоні засоби індивідуального захисту працюють за принципом екранування людини з використанням відбиття і поглинання ЕМП. Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і радіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину роблять із бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким проводом, або з бавовняних чи капронових ниток, спірально обвитих металевим дротом. Така тканина, наче металева сітка, при відстані між нитками до 0,5 мм значно послаблює дію випромінювання. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок не контактуючих проводів.

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії ЕМП, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру.

4.6 Розрахунок захисного заземлення

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, в лабораторії пропонується застосувати захисне заземлення.

Зробимо розрахунок захисного заземлення для лабораторії (рис. 3.1).

Вибираємо виносний заземлювальний пристрій, який застосовується при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В.

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних труб l = 2 м із зовнішнім діаметром d = 0,03 м, верхні кінці яких з'єднуються між собою за допомогою горизонтального електрода – сталевої смуги перетином 4×40 мм, покладеної в землю на глибині t = 0,7 м. Питомий електричний опір ґрунту ρ = 100 Ом·м. Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача дорівнює $\psi = 1{,}3$. Нормативний опір заземлювача – 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикального заземлювача:

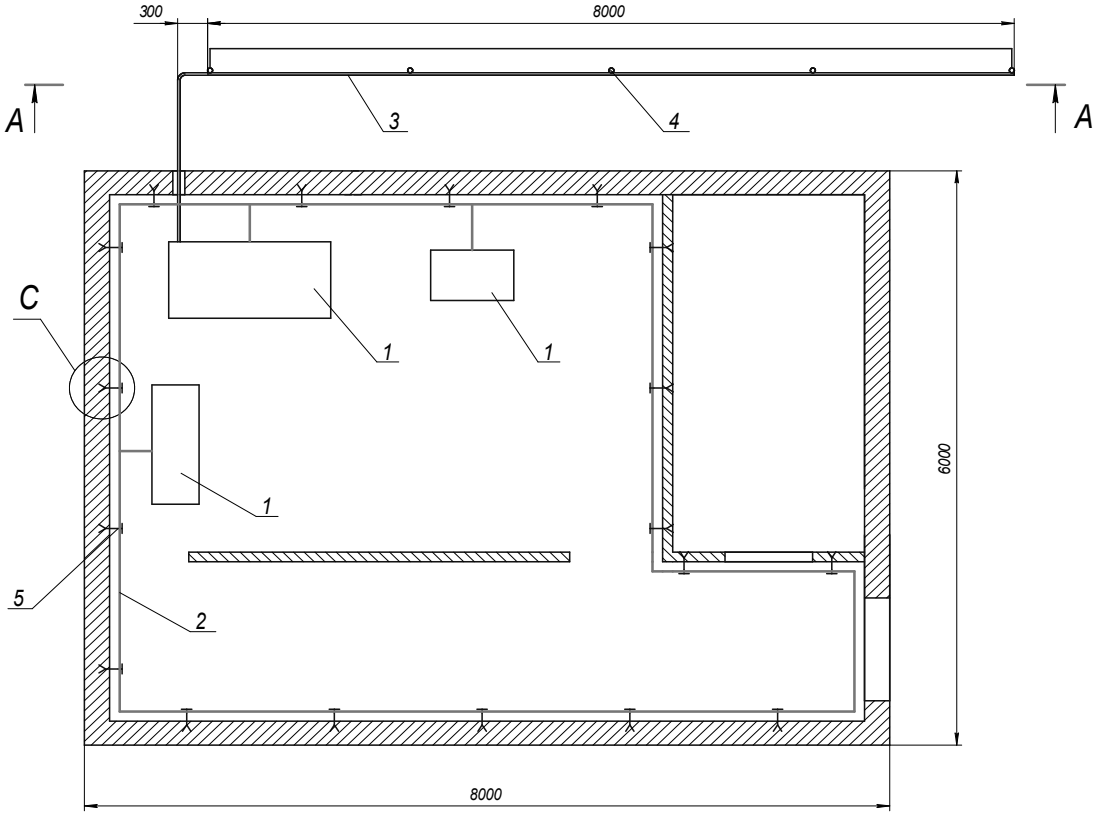
$$\rho_в = \psi_в \cdot \rho = 1{,}3 \cdot 100 = 130 \text{ Ом·м.} \quad (4.1)$$

Опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлювача, заглибленого в землю на 0,7 м:

$$R_0 = \left(\frac{\rho_в}{2\pi l}\right)\left[\ln\frac{2 \cdot l}{d} + 0{,}5\ln\frac{4 \cdot t + 3 \cdot l}{4 \cdot t + l}\right] = \left(\frac{130}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2}\right) \cdot \left[\ln\frac{2 \cdot 2}{0{,}03} + 0{,}5\ln\frac{4 \cdot 0{,}7 + 3 \cdot 2}{4 \cdot 0{,}7 + 2}\right] = 15{,}18 \text{ Ом.} \quad (4.2)$$

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів складе:

$$n = \frac{1{,}3 \cdot R_0}{R_н} = \frac{1{,}3 \cdot 15{,}18}{4} = 5 \text{ шт.} \quad (4.3)$$



1 – електроустановка; 2 – внутрішній контур заземлення; 3 – сполучна смуга; 4 – заземлювач; 5 – скоба кріплення.

Рисунок 4.1 - Схема виносного заземлення.

Знаходимо відношення відстані між заземлювачами до їх довжини:

$$A = \frac{a}{l} = \frac{2}{2} = 1. \tag{4.4}$$

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів $\eta_в = 0{,}7$, горизонтальних заземлювачів – $\eta_г = 0{,}74$.

Опір розтіканню струму групи вертикальних заземлювачів:

$$R_в = \frac{R_0}{n \cdot \eta_в} = \frac{15{,}18}{5 \cdot 0{,}7} = 4{,}3 \text{ Ом}. \tag{4.5}$$

Довжина горизонтальної сполучної смуги:

$$l_г = a \cdot (n-1) = 2 \cdot (5-1) = 8 \text{ м.} \quad (4.6)$$

Коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача при довжині смуги 8 м – $\psi_г = 2{,}5$.

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача:

$$\rho_г = \psi_г \cdot \rho = 2{,}5 \cdot 100 = 250 \text{ Ом·м.} \quad (4.7)$$

Опір горизонтальної смуги, поглибленої в землю на 0,7 м становить:

$$R_г = \left(\frac{\rho_г}{2\pi \cdot l_г \cdot \eta_г}\right) \ln\left(\frac{2l_г^2}{bt}\right) = \left(\frac{250}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8 \cdot 0{,}74}\right) \ln\left(\frac{2 \cdot 8^2}{0{,}04 \cdot 0{,}7}\right) = 56{,}65 \text{ Ом.} \quad (4.8)$$

Опір заземлювачів в цілому:

$$R_з = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в + R_г} = \frac{4{,}3 \cdot 56{,}65}{4{,}3 + 56{,}65} = 4 \text{ Ом.} \quad (4.9)$$

Отриманий опір заземлювачів дорівнює номінальному (4 Ом), що відповідає вимогам ПБЕ.

Розташовуємо 5 заземлювачів в ряд на відстані 2 м один від одного.

4.7 Висновки

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА.

Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі) і важкоспалимі речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, в лабораторії пропонується застосувати захисне заземлення.

ВИСНОВКИ

1. Технологія гарячого штампування зайняла міцне місце в отриманні матеріалів, що дозволяє з економічною вигодою забезпечити високу щільність та міцність виробів конструкційного призначення. Перспективність методів гарячого штампування для отримання карбідосталі доведена багатьма роботами. Доцільно встановити закономірності процесу гарячого штампування карбідосталі без використання технологічної операції попереднього спікання та на їх основі розробити технологію гарячого штампування зносостійких виробів конструкційного призначення.

2. Для розмелювання порошків з твердих і тендітних матеріалів найбільш ефективним є метод розмелювання в атриторі. Спроектовані, виготовлені та рекомендовані для дослідницьких цілей атритори з обсягом робочих камер 0,5; 1,0 та 3,0 л зі швидкостями обертання мішалок від 600 до 1200 $хв^{-1}$. Для дослідження пружно-пластичних властивостей карбідосталі доцільно використовувати метод локального навантаження жорстким індентором.

3. На етапах відпалу порошку швидкорізальної сталі Р6М4ФЗКХ4 та подальшого отримання карбідосталі виявлено карбіди складного складу. У матеріалі-основі зберігається вуглець, що забезпечує загартованість карбідосталі.

4. Вивчено структуру карбідосталі, штампованої в оболонках при температурі 1180°С. Показано, що як і в карбідосталі іншого походження досягнута відносно рівномірна дисперсність. Формування мікроструктури гарячештампованої карбідосталі, як і в спечених сталях, визначається утворенням евтектики, яка складається, в основному, з карбідів легуючих елементів швидкорізальної сталі, проте при цьому відсутня їх дифузійна розчинність у карбіді титану.

5. Встановлено, що гарячештампована сталь має текстуру зерен металу-основи в напрямку, перпендикулярному до зусилля штампування.

6. Особливістю структури гарячештампованої сталі є відсутність кільцевої зони навколо карбідного зерна, як це має місце у спеченій карбідосталі, внаслідок дифузійної взаємодії легуючих елементів з карбідом титану. У карбідному зерні зберігається хімічний склад, що забезпечує високу твердість як карбідних включень, так і матеріалу загалом. Це сприяє збільшенню зносостійкості штампованого матеріалу порівняно зі спеченим.
Визначено пружно-пластичні характеристики, фізико-механічні властивості (щільність, твердість, міцність на вигин, ударна в'язкість) штампованої загартованої карбідосталі та її зносостійкість. Досліджені властивості гарячештампованої сталі перевищують аналогічні властивості спечених та екструдованих карбідосталей.

7. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Баглюк Г. А., Куровський В. Я. Структура, механічні та триботехнічні властивості металоскляних композитів на основі модифікованих залізовуглецевих сплавів. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №11/12. С. 58-67.

2. Роїк Т. А., Гавриш Ю. Ю. Нові композиційні матеріали на основі міді для важко навантажених вузлів тертя. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №09/10. С. 40-48.

3. Косторнов А. Г. Триботехнічні характеристики композиційного матеріалу на основі заліза при температурі 500 °С. *Порошкова металургія.* Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2014. №07/08. С. 43-50.

4. Савчук П. П. Особливості зношування модифікованих епоксидних композитів при навантаженні тертям. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М.Францевича НАН України, 2014. №03/04. С. 103-109.

5. Вішневська-Вейнерт Х. Тертя і знос пористих підшипників ковзання при високій температурі. вплив твердого мастила з наночасток MoS_2. Порошкова металургія. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2013. № 07/08. С. 77-84.

6. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / О.С. Комаров, В.М. Ковалевський, А.С. Чаус та ін; під загальною редакцією О.С. Комарова. Мн.: Нове знання, 2005. 560 с.

7. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 336 с.

8. Степанчук А. М., Білик І. І. Матеріали для напилювання покриттів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 236 с.

9. Куцова В. З., Котова Т. В. Наноматеріали та нанотехнології: навч. посібник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2013. Частина 1. 103 с.

10. Писаренко В. Г. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку: навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2019. 242 с.

11. Композитні матеріали: навч. посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук [и др.]. Луцьк : Видавець ФОП Теліцин О.В., 2017. 368 с.

12. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук: підручник. Київ : НТУУ «КПИ», 2006. 353 с.

13. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: Увед.1999-12-01. 9 с.

14. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10 : уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010. 28 с.: «Укрархбудінформ». УКНД 91.040.99

15. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. К. : УкрНДІПБ. 2002. 44 с.

16. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. 65 с.

17. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. 143 с.