

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю. М. ПОТЕБНИ

Кафедра металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

(рівень вищої освіти)

на тему Технологічні особливості виробництва карбідів
кременію

Виконав: студент 5 курсу, групи 6.1369-МКС
спеціальності Металурія кольорових металів
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Металургії
(назва освітньої програми)

Квашіренко Ян. Миколайович
(ініціали та прізвище)

Керівник Доцент Бережна Ольга Роксоланівна
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Професор Пружков Д.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні _____
 Кафедра Математик
 Рівень вищої освіти Бакалаврський
 Спеціальність Металургія кольорових металів
(код та назва)
 Спеціалізація _____
(код та назва)
 Освітня програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« _____ » _____ 20 _____ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кучеренко Іл. Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Технологічні особливості
вародкицтва карбіду кремнію

керівник роботи Доценко Берекко Ольга Русівна

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

затверджені наказом ЗНУ від « _____ » _____ 20 _____ року № _____

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи нафтовий кокс, кварцевий кісок,
технічний карбід-кремнію.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Воднева частинка, технологічна частинка,
розрахункова.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Хімічний склад карбіду кремнію, будова
до будовного відношення, впливи до складу
кварцевого кіска, склад технологічних фізичок,
структура розрізу металу, особства карбіду, застосу-
вання карбіду кремнію.

6 Консультанти розділів роботи

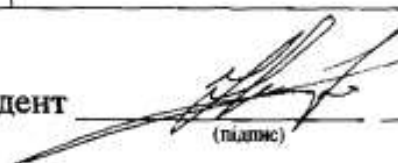
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Загальна частина	Бережна О.Р. доцент		
2. Технологічна частина	Бережна О.Р. доцент		
3. Розрахункова.	Бережна О.Р. доцент		

7 Дата видачі завдання _____

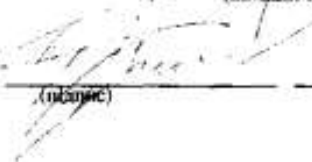
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	05.05.2022	
2	Технологічна частина	20.05.2022	
3	Розрахункова	01.06.2022	
4	Оформлення, оформувальні записки.	10.06.2022	

Студент


 Кешірково З.М.
 (підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)



 (підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


 _____ та _____
 (підпис) (ініціали) (прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково – пояснювальна записка: 52 сторінок, - рисунків, 6 таблиць і 24 літературних джерела.

КАРБІД КРЕМНІЮ, ПІЧ АЧЕСОНА, КОКС, ПІСОК КРЕМНІЄВІЙ, ШИХТА, ТИРСА, ЦИКЛОВИЙ ГРАФІК

Тема бакалаврської роботи: «Технологічні особливості виробництва карбіду кремнію».

Мета роботи – дослідження технологічних особливостей отримання карбіду кремнію, розробки технології та організація виробництва зеленого та металургійного карбіду кремнію.

У загальній частині представлено основні властивості та застосування карбіду кремнію, види та властивості карбіду кремнію, способи його виробництва та економічна оцінка цих способів.

В іншій частині представлено технологію отримання карбіду кремнію, опис технології дільниць, сировинні матеріали та їх підготовку.

У третій частині наведено питання організації виробництва карбіду кремнію, представлено технологічне обладнання та його характеристики. Наводяться заходи щодо охорони техніки безпеки та охорони навколишнього середовища.

Зміст

	стр
Вступ	6
1 Аналіз методів отримання, структури, властивостей та застосування карбіду кремнію	8
1.1 Методи одержання карбіду кремнію	8
1.2 Кристалічна структура карбіду кремнію	12
1.3. Види карбіду кремнію	14
1.4. Механізми спікання та ущільнення карбіду кремнію	17
1.5. Властивості карбіду кремнію	21
Висновки у розділі	22
2. Технологія виробництва карбіду кремнію	23
2.1. Загальний опис технологічного цеху	23
2.2 Сировинні матеріали для виробництва карбіду кремнію.	23
2.3. Підготовка сировинних матеріалів	26
2.3.1 Витрата сировини для одного завантаження	26
2.3.2. Підготовка сировини за операціями	26
2.3.3 Підготовка шихти	28
2.3.4 Завантаження печі	28
2.3.5 Хід печі	30
2.3.6 Вивантаження печі	30
2.3.7 Розбраковування карбіду кремнію	31
2.4. Структура технологічних ділянок	31
Висновки у розділі	35
3 Організація виробництва карбіду кремнію	37

3.1 Загальний опис цеху з виробництва карбіду кремнію	37
3.2. Технологічне обладнання по ділянках	38
3.3 Організація робіт зі змін	43
3.4. Захист довкілля, охорона здоров'я та праці, пожежна безпека	45
3.4.1 Захист навколишнього середовища	45
3.4.2 Безпека на робочому місці	45
Висновки у розділі	47
Загальні висновки щодо роботи	48
Список літератури	49

Вступ

Актуальні питання сучасного матеріалознавства спрямовані на створення термостійких високоміцних композиційних матеріалів. До таких матеріалів сміливо можна віднести композити на основі карбїду кремнію. Карбїд кремнію є високотемпературним конструкційним матеріалом і має ряд переваг: високу температуру плавлення, низьку щільність, високий рівень модуля пружності та міцності, хороший опір повзучості, стійкість до окислення та зносу. Ці властивості забезпечують використання SiC як матеріал деталей газових турбін, поршневих двигунів і теплообмінників, а також для виготовлення несучих компонентів, що працюють при високих температурах.

Після винаходу Ковлесом у 1885 р. способу електричної плавки в печі, отримав розвиток метод Ачесона. Застосування методу Ачесона дозволило організувати великомасштабне виробництво порошку карбїду кремнію [1]. У сучасних умовах карбїд кремнію у великих обсягах виробляється у Китаї та в Україні. У Європі найбільшими є підприємства: ESK Ceramics, Saint-Gobain, HC Starck та ін.

Існує ряд інших методів виробництва карбїду кремнію: карботермічне відновлення діоксиду кремнію, що виробляє чисті надтонкі кристали β -SiC для напівпровідникової промисловості; одержання волокон α -SiC та β -SiC мікронних розмірів при взаємодії кремнію та порошку вуглецю при температурі 1900–2100 °C; домішки алюмінію та бору використовують як активуючі добавки при виробництві пластинчастих кристалів SiC.

Самозв'язаний карбїд кремнію з високим вмістом основного компонента отримано перший щільний матеріал. У 1973 р. Прохазка [5] отримав твердофазно-спечений матеріал (SSiC) високої щільності. У роботі [6] на основі β -SiC, показано, що порошки α -SiC також ущільнюються з використанням добавок бору та вуглецю при температурі 2100 К.

Запропоновано метод рідкофазного спікання карбїду кремнію з оксидними добавками в умовах тиску. Показано, що β -SiC спікається до щільного стану при температурі 2100 °C. Як добавки використовували оксид ітрію і гідроксид алюмінію, який при розкладанні утворював оксид алюмінію.

Одержання монокристалічного карбіду кремнію сублімаційними методами запропонував Дж. Лелі [12]. Цей метод підходить для отримання напівпровідникових монокристалів карбіду кремнію і полягає у випаровуванні полікристалічного SiC при температурі 2500-2600oC з наступною конденсацією на випадкових зародках.

Метод золь-гель набув широкого поширення наприкінці 1970-х і на початку 1980-х років, коли розроблялися нові низькотемпературні методи отримання оксидної кераміки на основі діоксиду цирконію, оксиду алюмінію, діоксиду кремнію [16].

Плазмохімічний синтез є найпоширенішим методом одержання високодисперсних порошків. Метод заснований на застосуванні низькотемпературної плазми, що генерується в процесі дугового, тліючого, високо або надвисокочастотного розрядів.

Порошки карбіду кремнію можна отримати за допомогою методу високотемпературного синтезу. Метод було відкрито 1967 року А.Г. Мержановим, І.П. Боровинській та В.М. Шкіро [21]. Метод високотемпературного синтезу поділяють на два режими: пошарового горіння та об'ємного горіння.

Кристали SiC, отримані в процесі синтезу за методом Ачесона, є рядом модифікацій: гексагональної, тригональної та кубічної. Структура карбіду кремнію складається з sp^3 гібридизацій атомних орбіталей, що утворюють тетраедри з атомами Si або C у просторовому центрі, оточені чотирма іншими атомами [22].

. Карбідокремнієві матеріали умовно можна розділити на дві групи: пористі матеріали, до них відносяться – керамічно-пов'язаний карбід кремнію (CSiC), рекристалізований карбід кремнію (RSiC), реакційно-пов'язаний карбід кремнію (RBSiC); щільні матеріалів з карбіду кремнію, що включають – силіцований (реакційно-спечений) карбід кремнію (SiSiC), твердофазно-спечений карбід кремнію (SSiC), рідкофазно-спечений карбід кремнію, гарячепресований (HPSiC) та гаряче ізостатично пресований .

1 Аналіз методів отримання, структури, властивостей та застосування карбіду кремнію

1.1 Методи одержання карбіду кремнію

Після винаходу Ковлесом у 1885 р. способу електричної плавки в печі, отримав розвиток метод Ачесона. Застосування методу Ачесона дозволило організувати великомасштабне виробництво порошку карбіду кремнію [1]. У сучасних умовах карбід кремнію у великих обсягах виробляється у Китаї та в Україні. У Європі найбільшими є підприємства: ESK Ceramics, Saint-Gobain, NS Starck та ін.

В даний час існують наступні методи одержання карбіду кремнію як зеленого, так і чорного:

- карботермічне відновлення діоксиду кремнію, що виробляє чисті надтонкі кристали β -SiC для напівпровідникової промисловості. Пізніше процес модифікований отримання порошку β -SiC [2];

- одержання волокон α -SiC та β -SiC мікронних розмірів при взаємодії кремнію та порошку вуглецю при температурі 1900–2100 °С;

- домішки алюмінію та бору використовують як активуючі добавки при виробництві пластинчастих кристалів SiC.

Алюміній посилює ріст карбіду кремнію в напрямку $\{0001\}$ і уповільнює ріст кристалів перпендикулярно до напрямку $\{0001\}$. Бор посилює зростання кристалів перпендикулярно до напрямку $\{0001\}$ [3].

Волокна карбіду кремнію виробництва компанії «Millenium Materials» містять 0,04–0,45 % мас. Al; 0,4–0,8% мас. B; 0,4–0,8% мас. Ni; 0,3–3,6 % мас. Si [4]. При цьому більшість домішок присутні на зовнішній поверхні волокон карбіду кремнію.

Реакційно-спечений (самозв'язаний) карбід кремнію з високим вмістом основного компонента отримано перший щільний матеріал із пористістю менше 2%. У 1973 р. Прохазка [5] отримав твердофазно-спечений матеріал (SSiC) високої щільності. У роботі [6] на основі β -SiC, показано, що порошки α -SiC також ущільнюються з використанням добавок бору та вуглецю при температурі 2100 К. У 1981 р. запропоновано ідею легування SiC зі спекувальними добавками Al_2O_3 або AlN [7].

Запропоновано метод рідкофазного спікання карбїду кремнію з оксидними добавками в умовах тиску. Оморї та ін [8] показано, що β -SiC спікається до щільного стану при температурі 2100 °С. Як добавки використовувались оксид ітрію і гідроксид алюмінію, який при розкладанні утворював оксид алюмінію. Успішне рідкофазне спікання нітриду кремнію з спекувальними добавками в системі $Y_2O_3-Al_2O_3$ забезпечило розробку великого класу матеріалів на основі α -SiC та β -SiC [9].

Автори роботи [10] при спіканні карбїду кремнію успішно використовували як рідку фазу AlN з оксидом ітрію або оксидом алюмінію. Пізніше в роботах [11], показано, що карбїд кремнію, спечені з добавками в системі Y_2O_3-AlN реалізує процес придушення реакції розкладання при спіканні в атмосфері надлишкового тиску азоту.

В даний час для рідкофазно-спеченого карбїду кремнію найбільш часто використовуються спекаючі добавки у вигляді систем $Y_2O_3-Al_2O_3$ і Y_2O_3-AlN .

Одержання монокристалічного карбїду кремнію сублімаційними методами запропонував Дж. Лелї [12]. Цей метод підходить для отримання напівпровідникових монокристалів карбїду кремнію і полягає у випаровуванні полікристалічного SiC при температурі 2500-2600°C з наступною конденсацією на випадкових зародках. Ю.А. Водаковим та Є.І. Моховим був запропонований сублімаційний сендвіч-метод вирощування епітаксійних шарів SiC, згідно з яким процес йшов при зближенні джерела пари та підкладки [13]. До початку 80-х років метод Лелї був єдиним промисловим способом отримання кристалів для напівпровідникової промисловості. Недоліком даного методу є велика кількість зародків, що призводить до надлишку дрібних кристалів.

Використання затравок дозволяє вирощувати монокристали великого розміру. У 1979 року В.Ф. Цветковим та Ю.М. Таїровим запропоновано метод фізичного транспорту парів, який зветься модифікованим методом Лелї [14]. Суть методу полягає в конденсації пересиченої пари, що виникає під час сублімації синтезованого карбїду кремнію на монокристалічну затравку. Сублімаційне зростання визначається низкою чинників, найважливішими є конструкція самого тигля і розподіл температури у ньому, оскільки кристали прагнуть рости вздовж ізотерм. Полікристалічний карбїд кремнію знаходиться у зоні високих температур 1800-2600°C. Пари надходять до холоднішого кристалу-затравки, на поверхні якого відбувається кристалізація. Розмір кристала можна поступово збільшувати за рахунок багаторазового бічного нарощування. На відміну від методу Лелї, де потрібні

мінімальні градієнти температури, у разі вони досягають значень 20-30 град/см. Нагрівач може бути виконаний з графіту з прямим пропусканням струму або струмами високої частоти, що нагріваються [15].

Золь-гель метод набув широкого поширення наприкінці 1970-х і на початку 1980-х років, коли розроблялися нові низькотемпературні методи отримання оксидної кераміки на основі діоксиду цирконію, оксиду алюмінію, діоксиду кремнію [16]. Основною перевагою використання методу золь-гель синтезу є можливість отримання високочистого продукту з однорідною мікроструктурою. Такого результату неможливо досягти традиційними методами обробки. Це пов'язано з високою температурою плавлення, випаровуванням та кристалізацією.

Використання золь-гель методу є особливо ефективним для синтезу нанорозмірних порошків. Слід зазначити, що золь-гель метод застосовується до виробництва плівок і волокон. Золь-гель процес включає дві основні стадії: гідроліз і поліконденсацію. Перша стадія починається з приготування кварцового скла за допомогою змішування відповідного алкоксиду у вигляді вихідного компонента, води та взаємного розчинника з утворенням розчину. Гідроліз призводить до утворення силанольних груп $-SiOH$, які згодом конденсуються з утворенням силосанових зв'язків $-SiOSi-$. Силікагель, утворений цим способом, призводить до жорсткої, взаємопов'язаної тривимірної мережі, що складається з полімерних ланцюгів [17]. Видалення розчинника відбувається за допомогою сушіння. Внаслідок цього процесу відбувається усадка та ущільнення, утворюється ксерогель. Ця фаза обробки сильно впливає на мікроструктуру кінцевого компонента.

Золь-гель метод отримання порошків SiC є досить дорогим порівняно з іншими методами, особливо з методом Ачесона. Крім того, частинки, з яких складаються порошки, отримані за допомогою методу золь-гель, є пористими за своєю природою через виділення газів у ході карбонізації та карботермічного відновлення гелю.

Плазмохімічний синтез є найпоширенішим методом одержання високодисперсних порошків. Метод заснований на застосуванні низькотемпературної плазми, що генерується в процесі дугового, тліючого, високо або надвисокочастотного розрядів. Частинки, отримані даним методом, найчастіше є монокристали розмірами від 10 до 200 нм. Процес характеризується високою швидкістю зародка утворення твердої фази при малих швидкостях зростання. За високої температури плазми всі вихідні речовини переходять у газоподібний іонізований стан. Наявність іонів

призводить до великих швидкостей взаємодії та короткого часу реакції.

Авторами статті [18] досліджено можливості отримання нанодисперсних порошків карбіду кремнію у плазмохімічних процесах при водневому відновленні тетрахлориду кремнію з вуглеводнем при використанні аргонової електродугової та азотної мікрохвильової плазми. Отримано однофазні порошки кубічної модифікації розміром частинок 20-120 нм. Різновидом плазмохімічного синтезу є газофазний синтез із використанням нагрівання реакційної суміші. При використанні даного методу виключається забруднення суміші та можливий контроль процесу, у тому числі контроль гомогенного утворення зародкаутворення.

У роботі [19] було описано спосіб отримання нанокристалічних порошків Si, Si₃N₄ та SiC за допомогою лазерного синтезу. Порошки отримували піролізом газоподібного силану (SiH₄) з використанням CO₂-лазера. Таким чином, частинки порошку карбіду кремнію мали розмірність 18-26 нм. У ході експерименту було показано, що зерна нанопорошків, отримані за допомогою лазерного нагрівання, мають сферичну форму та вузький розподіл за розмірами. Недоліком методу є низька селективність процесу (тобто широке розподіл частинок за розмірами). Отримати наночастинки необхідної стехіометрії можна за допомогою додаткового короткочасного випалу в контрольованому газоподібному середовищі.

Метод хімічного осадження із парової фази. Хімічне осадження з парової фази (Chemical vapor deposition) – хімічна реакція утворення карбіду кремнію з газоподібного реакційного середовища. За допомогою даного методу можна отримати не тільки плівкові структури, але й покриття на зернистих матеріалах, а також наностержні та волокна. У методі хімічного осадження із парової фази зазвичай використовують силан і вуглеводні як вихідні реагенти, а як газ-носії – водень. Процеси хімічного осадження проводять при звичайному чи зниженому тиску. Для активації процесу використовують один із найбільш відомих методів: термічний, фотохімічний, лазерний, плазмовий. У роботі [20] при температурі 1100°C отримані рівноосні, квазісферичні та агломеровані частинки SiC у системі SiH₄-C₂H₂ в атмосфері азоту. Середній розмір частинок порошку становить 0,1-0,2 мкм, максимальний розмір агломерату становить близько 0,3 мкм. За допомогою цієї технології можливе отримання плівкових структур, однак отримання порошків утруднене неможливістю отримання гомогенних структур.

Метод самопоширюючого високотемпературного синтезу – СВС. Порошки карбіду кремнію можна отримати за допомогою методу

високотемпературного синтезу (СВС). Метод було відкрито 1967 року А.Г. Мержановим, І.П. Боровинській та В.М. Шкіро [21]. Метод високотемпературного синтезу поділяють на два режими: пошарового горіння та об'ємного горіння. Форма вихідних компонентів може бути як у вигляді порошку, так і у вигляді спресованої таблетки. Ініціювання процесу проводять за допомогою підведення короткочасного теплового імпульсу (лазерний промінь, електроіскровий розряд та ін.) з формуванням хвилі горіння, або використовують рівномірне нагрівання для ініціювання екзотермічної реакції горіння. Метод СВС є реакцію горіння, в якій тепловиділення локалізовано в шарі, і передається від шару до шару шляхом теплопередачі. Температура хвильового фронту зазвичай має досить високий рівень значень до 2000-4000 °С. При реалізації процесу об'ємного горіння весь зразок нагрівають у контрольованому режимі, доки реакція не пройде одночасно і рівномірно за обсягом зразка. Інакше кажучи, цей режим називають режимом теплового вибуху, оскільки перед здійсненням процесу займання необхідно прогріти зразок. Перевагами методу є: велика швидкість протікання реакції; -незначні енергетичні витрати; -простота обладнання; - висока продуктивність; -чистота кінцевого продукту

1.2 Кристалічна структура карбїду кремнію

Кристали SiC, отримані в процесі синтезу за методом Ачесона, є рядом модифікацій: гексагональної, тригональної та кубічної. Структура карбїду кремнію складається з sp^3 гібридизацій атомних орбіталей, що утворюють тетраедри з атомами Si або C у просторовому центрі, оточені чотирма іншими атомами [22]. У тетраедрах вуглецеві атоми утворюють закриті упаковки паралельних шарів, а атоми кремнію знаходиться в отворах тетраедра між шарами. Ці шари послідовно можуть повторюватися: ABC, ABC (цинкова обманка) або AB, AB із кубічною або гексагональною щільною упаковкою. Відповідно до розташування в упаковці атомів кремнію та вуглецю карбїд кремнію поділяється на α -SiC та β -SiC. У карбїді кремнію α -SiC позначають структуру з гексагональною та тригональною щільною упаковкою, а β -SiC структуру з кубічною упаковкою, яка відповідає структурі типу цинкової обманки. Упаковки однакових шарів розрізняються з погляду їх відстані один щодо одного. Ця одновимірна форма поліморфізму названа політипністю. Різні політики карбїду кремнію мають схожі властивості при однаковій щільності (3,21 г/см³). В даний час відомо близько 180 різних політиків карбїду кремнію. Рамселл ввів позначення для різних політиків карбїду кремнію. Число в позначенні політика вказує на кількість шарів, ні – сингонію: С – кубічна сингонія, Н – гексагональна, R –

ромбоедрична [22]. Політипи, що найчастіше зустрічаються, є 3С, 2Н, 4Н, 6Н і 15R. Кубічною формою карбиду кремнію (3С) є β -SiC, всі гексагональні та ромбоедричні політипи – α -SiC. β -SiC традиційно називають «низькотемпературною модифікацією» [22], метастабільною фазою при кімнатній температурі, яка при підвищених температурах переходить у 3 β -SiC не одну або кілька різнотипних форм α -SiC фази. Механізми формування та термодинамічна стабільність різних політиків до кінця не вивчені, вони визначаються температурою, кількістю домішок, газовою атмосферою та процесом кінетичного зростання кристалів карбиду кремнію.

У роботі [23] показано, що 4Н стабільно нижче 1600 °С, 3С – стабільно між 1400 і 1600 °С, 2Н-SiC політик стабільний нижче 1400 С. Додаток до 0,4 % мас. Al стабілізує структуру 15R – вище 2200 °С, 6Н – вище 2100 °С. При температурі вище 2100 оС 4Н-SiC політик стабілізується за рахунок заміщення Si на Al у решітці SiC [24]. У роботах показано, що β -SiC кристалізується в основному у вигляді 6Н політика. При додаванні менше 0,1 мас. Al стабілізується 15R політик, при більшій кількості Al стабілізується 4Н політик.

У роботі [25] спростовується твердження, що існує зв'язок між вмістом домішок та формуванням структури кристалів SiC з добавками різної кількості алюмінію, вирощених при фіксованій температурі. У цьому випадку стабілізується гексагональна кристалічна структура карбиду кремнію.

При спіканні в атмосфері N_2 стабілізуються 3С та 2Н політики карбиду кремнію. Фостер у роботі [26] отримав карбід кремнію різних політиків методом карботермічного синтезу нітриду кремнію у присутності рідкої фази. Їм виявлено, що дифузія азоту в 3С політип низька (менше 1% ат.), тоді як дифузія азоту в 2Н політип висока – до 14% ат. У процесі спікання порошку α -SiC зі спекаючими добавками формується матеріал із мікроструктурою гексагональної «правильної» форми зерен. При спіканні порошку β -SiC з добавками в системі $Y_2O_3-Al_2O_3$ формується структура SiC-матеріалу з неправильною формою зерен (велика кількість витягнутих зерен). У процесі $\beta \rightarrow \alpha$ фазового переходу SiC відбувається посилене зростання зерен у напрямку осі «Х», що призводить до подовження α -SiC-зерен і надає зміцнення матеріалу [3]. В межах одного зерна може існувати різне число політиків, з дефектами упаковки між атомами. Вільні енергії різних політиків близькі, що призводить до кристалізації SiC як суміші метастабільних фаз. Оскільки кристалічні структури різних політиків карбиду кремнію схожі,

існують перекриття між бреггівськими відображеннями від різних політиків, що ускладнює точне їх визначення.

1.3. Види карбіду кремнію

Керамічно-пов'язаний карбід кремнію – CSiC. Керамічно-пов'язаним називають матеріал, зерна карбіду кремнію якого пов'язані оксидними або нітридними фазами, також зерна нітриду кремнію можуть бути пов'язані вторинним карбідом кремнію. Пористість таких матеріалів може становити до 20% об. Основними компонентами CSiC-матеріалі є грубі порошки карбіду кремнію, глина або оксиди (SiO_2 або Al_2O_3).

Керамічно-пов'язаний карбід кремнію використовують як цеглу у вогнетривких печах, а також абразивних дисків. Нітрид кремнію пов'язаний карбідом кремнію спікають при температурі 1400 °С в атмосфері повітря. При цьому нітрид кремнію переходить в оксинітрид кремнію, який у CSiC-матеріалі з добавкою Al_2O_3 утворює сіалон, пов'язаний з SiC [1].

Рекристалізований карбід кремнію - RSiC. Рекристалізований карбід кремнію отримують вільним спіканням крупнодисперсного порошку SiC у вакуумі при температурі 2500 К. RSiC являє собою пористий (близько 20 % об. пористості) карбід кремнію в якому найбільш повно реалізуються специфічні властивості карбіду кремнію, такі як висока хімічна низької густини 2,5 г/см³ [28]. Рекристалізований карбід кремнію є матеріалом високої чистоти, він характеризується тільки транскристалітним руйнуванням, що призводить до високого коефіцієнта тріщиностійкості.

У роботі [29] описано процес отримання рекристалізованого карбіду кремнію. Матеріал характеризується щільністю 2,70 г/см³, 16 % пористістю та міцністю при вигині до 100 МПа для тривалого циклічного використання при високих температурах до 1650 К. Отримати методом рекристалізації виробу із SiC із щільністю, близькою до теоретичної, неможливо. Зниження пористості даного класу матеріалу можна досягти шляхом додаткового процесу ущільнення за рахунок багаторазового просочення заготовок розчинами полікарбосиланів та полівінілсиланами з подальшою карбонізацією та утворенням вторинного карбіду кремнію в порах матеріалу [41].

Основним застосуванням виробів із RSiC з підвищеною щільністю є фарфорова промисловість. Садкові термостійкі елементи для печей – стопки, плити, капсули, труби роликового пода дозволяють успішно експлуатувати їх за температур до 1600 С. □

Рекристалізований SiC з покриттям із Si_3N_4 або на зв'язці з Si_3N_4 широко використовується як футерування алюмінієвих електролізерів,

оскільки має більш високу стійкість до окислення при впливі рідкого алюмінію та кріоліт-глиноземного розплаву порівняно з вуглецевими вогнетривами. Широкого поширення набули карбідокремнієві нагрівачі з SiC, що застосовуються в електричних печах опору, що мають робочі температури до 1400 °С. Для тривалої роботи нагрівачів в окислювальній атмосфері необхідно досягати високої густини при вмісті основної фази (SiC) близькою до 100%.

Реакційно-пов'язаний карбід кремнію - RBSiC.

Синтез RBSiC-матеріалів включає формування заготовок із суміші частинок SiC ($d_{0,5} = 5-10$ мкм) і вуглецю. Пористі заготовки просочують рідким Si, при температурі 1500-1600 °С у відповідність до реакції:



Спінання відбувається за рахунок осадження вторинного карбиду кремнію (SiC₂), який склеює зерна первинного карбиду кремнію (SiC₁). Мікроструктура RBSiC характеризується наявністю зерен SiC₁, покритих фазою SiC₂, з мережею залишкового кремнію [31]. Кількість кремнію, необхідне отримання SiC₂ строго розраховується за формулою (1). У процесі спінання RBSiC-матеріалів найчастіше використовують таке співвідношення компонентів – 90 % об. SiC та 10 % про. Si. Залишковий Si знижує високотемпературні властивості, тому часто до складу кремнію (температура експлуатації виробів не вище 1200 °С) вводять легуючі добавки, такі як 2 % Мо. МоSi₂, що утворюється, більш хімічно стабільний при підвищених температурах.

RBSiC-матеріали мають високу пористість до 20% об. Перевагою таких матеріалів є практично повна відсутність усадки, що дозволяє отримувати вироби різної конфігурації та складності. Найчастіше метод реакційного зв'язування використовують при виробництві великогабаритних виробів з карбиду кремнію (RBSiC) та нітриду кремнію (RBSN).

Силіцований карбід кремнію - SiSiC.

Цей метод схожий на метод RBSiC, крім того, що надлишок кремнію проникає в заготівлю, реагує з вуглецем з утворенням SiCII та заповнює всі пори [32]. Вперше матеріал SiSiC отримали методом просочення розплавом або парами кремнію вуглецевмісних матеріалів - графіт, деревне вугілля, пековий або нафтовий кокс, сажа. Як тимчасові сполучні – пластифікатори використовували формальдегідні смоли, декстрин, пульвербакеліт.

Просочення кремнієм заготовок проводили при 2050 °С у вакуумі або в атмосфері Ar. Цей метод виявився технологічнішим за метод гарячого

пресування, і на його основі отримують 80 % всієї технічної кераміки на основі SiC. Дослідження механічних та теплофізичних властивостей SiC-матеріалів показало, що вони суттєво залежать від густини спечених виробів. При дослідженні температурної залежності межі міцності встановлено, що в інтервалі до 1000 °C міцність SiSiC не змінюється. Вище 1000 °C з появою розплаву вільного кремнію кераміка починає розміщуватись і практично повністю втрачає міцність при 1400 °C.

Завдяки високому рівню фізико-механічних властивостей SiC-матеріалу, вироби з нього знаходять широке застосування в різних вузлах тертя та ущільненнях (торцеві ущільнення, підшипники ковзання та ін.) різного класу насосів, що використовуються при видобуванні та переробці нафти, газу в хімічній промисловості та ядерній техніці.

Гарячепресований карбід кремнію - HPSiC.

У процесі гарячого пресування прикладений тиск забезпечує підвищене ущільнення матеріалу. Тиск, що прикладається до матеріалу, пригнічує внутрішній тиск пор, допомагаючи зменшити пористість, без істотного збільшення розміру зерен. Тому метод гарячого пресування широко використовують для одержання кераміки на основі карбиду та нітриду кремнію. Проте через високі виробничі витрати метод гарячого пресування зазвичай не використовується для отримання матеріалів на основі SiC.

Метод гарячого пресування призводить до формування однорідної мікроструктури з більш високими механічними властивостями. Недоліком гарячого пресування є високі виробничі витрати, пов'язані з вартістю прес-оснастки з високощільного графіту, тому він використовується тільки для отримання високоякісної кераміки, що відповідає високим вимогам щільності та механічних властивостей. Ще одним недоліком гарячого пресування є обмеження одержуваних виробів за формою та геометричними розмірами. Чистий карбід кремнію, без спекаючих добавок, не має досить високої пластичної деформації до температури розкладання і може бути спечений до щільності близької до теоретичної тільки за спеціальних умов. У процесі гарячого пресування тиск обмежується величиною 9,35 МПа та температурою спікання 2300°C. Ці умови визначаються стійкістю графітової форми [1].

Після гарячого пресування часто на додаток використовували термообробку, що призводить до зниження концентрації напруг у матеріалі та покращує в'язкість руйнування [27]. Одночасно гаряче пресування може призводити до анізотропної орієнтації витягнутих SiC-зерен, анізотропії механічних властивостей та зносу матеріалу.

1.4. Механізми спікання та ущільнення карбіду кремнію

Процес спікання відбувається шляхом масопереносу матеріалу за високої температури і іноді високому тиску. Рушійною силою при твердофазному спіканні є зниження вільної поверхневої енергії частинок, що реалізується дифузією атомів при транспортуванні речовини з обсягу зерен із заповненням пори, або за рахунок перебудови частинок у поровий простір [33]. Перший етап твердофазного спікання визначається зближенням частинок з метою збільшення дифузійних контактів, що збільшує усадку матеріалу. На другому етапі спікання відбувається переведення відкритої пористості в закрити та зменшення її приблизно до 10 % про. Завершальний етап спікання спрямований на зменшення закритої пористості, до 3-5% об.

На мікроструктуру та ущільнення матеріалу впливають температура спікання, вихідний розмір зерен карбіду кремнію та прикладений у процесі спікання тиск. Останніми роками підтверджено, що неоднорідності в щільності формованих заготовок і великий розмір часток SiC перешкоджають можливості повністю ущільнюватися [33]. При твердофазному спіканні зростання зерен домінує над ущільненням, особливо без використання будь-яких добавок, що полегшують процес спікання. Це унеможливає повне ущільнення матеріалу. При спіканні єдиним механізмом масопереносу є дифузія атомів у твердому стані, самодифузія дуже низька і чистий карбід кремнію неможливо спекти до теоретичної щільності.

Перші три етапи спікання – поверхнева дифузія, дифузія решітки від поверхні частинок у міжзерний перехід, перенесення пари через заростання перехідки без ущільнення матеріалу. Ущільнення полікристалічної кераміки відбувається в основному за рахунок дифузії за межами зерен та дифузії ґрат від меж зерен. Прохазка вперше отримав матеріали на основі β -SiC [34], а потім α -SiC [71] вільним спіканням без тиску та з добавкою до 2 % бору та вуглецю.

Автор роботи [34] стверджував, що ущільнення SiC-матеріалу відбувається внаслідок підвищення межі розчинності бору в карбіді кремнію, який відповідно до правила Шаффера становить не менше 0,2% мас. Замість бору також можна використовувати інші його з'єднання, наприклад B_4C [35].

У процесі твердофазного спікання відбувається заміна кремнію в ґратах карбіду кремнію бором, створення дефектної структури, що підвищує об'ємну дифузію. Вуглець взаємодіє з оксидною плівкою (SiO_2), на частинках SiC-порошку, відновлюючи її. Перевищення вмісту вуглецю призводить до інгібування зростання зерен SiC та отримання мікроструктури із зернами

округлої форми. Часто крім добавок бору та вуглецю для ущільнення використовують алюміній та його сполуки, а також берилій та його сполуки [36].

Ще одним способом підвищення низької самодифузії SiC та отримання щільного карбідокремнієвого матеріалу є утворення рідкої фази між зернами SiC при температурі спікання. Такий метод отримав назву «рідкофазне спікання». Утворена рідка фаза зменшує шлях дифузії карбиду кремнію при масопереносі атомів і заповнює пори.

Рідкофазно-спеченими називають матеріали, мікроструктура яких представлена зернами твердої фази із заповненими просторами між ними другою фазою. У деяких випадках рідка фаза може зникати до завершення спікання, або бути присутнім у вигляді включення у твердій фазі при отриманні твердого розчину (система типу $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-AlN}$), шляхом кристалізації з рідкої фази, або за рахунок випаровування. Таке явище називають перехідним рідкофазним спіканням, воно проходить у два етапи:

- 1) перехідне рідкофазне спікання;
- 2) твердофазне спікання.

Оскільки рідка фаза присутня тільки під час спікання і не залишається в матеріалі у вигляді другої фази, його часто класифікують як твердофазноспечений карбід кремнію. Прикладом може бути спікання карбиду кремнію, легованого Al і C, або з добавкою Al_2O_3 [37]. Тиск, прикладений у процесі спікання, підвищує ущільнення SSiC і LPSSiC-матеріалів, не впливаючи на швидкість зростання зерен. При твердофазному спіканні швидкість дифузії на межі зерен залежить від коефіцієнта дифузії D_t та товщини межі двох зерен карбиду кремнію δ_t . У рідкофазно-спеченому матеріалі швидкість масопереносу визначається коефіцієнтом дифузії D_L атомів розчиненої в рідкій фазі речовини і товщиною шару рідкої фази між двома частинками карбиду кремнію, який, як правило, набагато більше δ_t .

При спіканні LPSSiC-матеріалів знижуються виробничі витрати і формується щільніша мікроструктура. Матеріали, що володіють такою мікроструктурою, характеризуються вищими значеннями міцності, твердості та опором зносу.

Основна відмінність між мікроструктурами SSiC і LPSSiC полягає в тому, що твердофазноспечені матеріали складаються з кристалічних зерен з розділеними межами, а в рідкофазноспеченому матеріалі є друга фаза на межах зерен. SSiC-матеріали характеризуються переважно транскристалітним руйнуванням. Рівень міцності LPSSiC значно вищий, ніж у SSiC-матеріалів. Наявність другої фази в LPSSiC-матеріалі може бути і недоліком, особливо якщо вона є склоподібною і знижує високотемпературні властивості, такі як міцність, повзучість і опір втоми [38].

Для спечення карбіду кремнію та подальшого ущільнення потрібні високі температури. При спеканні карбіду та нітриду кремнію необхідно використовувати добавки для повного ущільнення матеріалу. Додаток тиску сприяє інтенсифікації ущільнення та знижує температуру спікання. Використовуючи узагальнені результати прогнозування термодинамічної та хімічної сумісності компонентів у процесі створення композиційних матеріалів визначено, що найбільш відповідними добавками, що активують спікання, є наступні оксиди – Al_2O_3 , BeO , Y_2O_3 , La_2O_3 , CaO , MgO , ZrO_2 .

Вільне спікання карбіду кремнію реалізується без застосування тиску. Висока міцність ковалентного зв'язку та низький коефіцієнт самодифузії унеможливили вільне спікання карбіду кремнію без активуючих добавок. Головною перевагою цього спікання в порівнянні з іншими є те, що матеріали можна набувати будь-якої геометричної форми в широкому діапазоні розмірів без застосування додаткової механічної обробки, на відміну від методу гарячого пресування. Однак у даного методу існують недоліки:

- 1) ущільнення є більш технологічно складним процесом, що супроводжується значною усадкою;
- 2) реакції взаємодії SiC з оксидами призводять до розкладання карбідів та значної втрати маси при спіканні.

Такі реакції завжди спостерігаються при спіканні SiC з оксидними добавками, переважно за рахунок розкладання Al_2O_3 і SiO_2 . У роботах [9, 39] стверджується, що при використанні підсипки, що складається з суміші грубодисперсних порошків Al_2O_3 і SiC , можна поліпшити ущільнення при вільному спіканні. Однак, тривалий час представлялося складним досягти високої густини SiC -матеріалів при вільному спіканні з використанням підсипки. Вінн та ін. у роботі [40] застосовували рідкофазне спікання $\alpha\text{-SiC}$ порошку з добавками алюмоіттрієвого гранату із суміші компонентів Y_2O_3 та Al_2O_3 . Ними виявлено, що додавання Al_2O_3 в грубодисперсний порошок SiC , що використовується як підсипка, збільшує щільність спеченого матеріалу з 92% до 98%, що пов'язано з дифузією Al_2O_3 в зразках. Вони припустили, що при використанні підсипки можна гарантувати досить високий парціальний тиск SiO і Si у зразках, тому реакція між ними та летючими субоксидами ітрію та алюмінію буде проходити з утворенням рідкої фази, відбулася металізація поверхні. Основа цього шару складалася з ітрію, кремнію та алюмінію.

У роботі [41] отримані LPSSiC-матеріали з використанням як добавки і як підсипки оксидів Y_2O_3 і Al_2O_3 з метою зменшення розкладання SiC . Авторами виявлено, що лише зміна кількості Al_2O_3 у порошку підсипки

впливає на ущільнення та втрату маси при спіканні. Матеріали, у яких рідка фаза багатша Al менш пористі. Досягнення низької пористості відбувається за рахунок надлишку Al порошку підсипки.

Автори [41] дійшли висновку, що склад порошку підсипки впливає випаровування летких сполук у процесі ущільнення. Гранд із співавт [42] проводили рідкофазне спікання карбиду кремнію з добавкою 7,5% мас. евтектичного складу системи Y_2O_3 - Al_2O_3 , з використанням як підсипання порошку SiC- Al_2O_3 . Характерну втрату маси в результаті такого спікання не спостерігали, проте встановлено, що в процесі спікання YAG частково розкладається з випаром Al_2O_3 збагачуючи рідку фазу оксидом ітрію. У цьому випадку застосування підсипки для спікання не є ідеальним варіантом, оскільки склад порошку при спіканні з підсипанням впливає на склад міжзеренної фази матеріалу. При цьому виявлено, що при зростанні парціального тиску монооксиду вуглецю вдається знизити розкладання при вільному спіканні матеріалів у системі SiC- Al_2O_3 - Y_2O_3 .

Метод гарячого ізостатичного пресування карбиду кремнію.

У процесі гарячого ізостатичного пресування тиск на заготовку створюється газовим середовищем. При цьому ущільнена заготовка укладена в металеву еластичну форму. У процесі гарячого ізостатичного пресування початковий тиск газу підтримується компресором, у цей час як зразок нагрівається до температури спечення. Тиск газу поступово збільшується до заданого значення.

Перевагою HIP є використання об'ємного пресування, а також можливість отримання більш складних геометричних форм. У разі твердофазного спікання без тиску потрібна висока температура та довга витримка для ущільнення матеріалу. У роботі [43] показано, що використання HIP дозволяє ущільнити SiC-матеріал за температури нижче 1700 °C, що призводить до формування структури з малим розміром зерен ($d_{0,5} = 150$ нм). Широке застосування процесу HP та HIP знайшли у виробництві соплових вкладишів ракетної техніки, у двигунобудуванні (лопатки турбін, елементи турбонаддува), при виготовленні керамічних підшипників кочення, в інструментальній промисловості (ріжучі елементи). Газофазне спікання карбиду кремнію.

Метод газофазного спікання схожий на HIP, процес спікання також поділяється на два етапи: 1) початкова стадія спікання, коли у зразку формується закрыта пористість; 2) тиск газу збільшується вище тиску всередині часу, що призводить до заростання останніх до повного зникнення. Різниця між HIP і GPS в тому, що тиск, який використовується в GPS нижче, ніж при HIP. У GPS тиску газу знаходяться в межах 0,1-10 МПа, HIP тиску

газу - 10-400 МПа. Перевага GPS над HIP полягає в тому, що можна отримувати вироби з більшим діапазоном розмірів.

У роботі [44] зазначено, що спікання зразків із засипкою корунду ефективніше і призводить до високої щільності. Методом GPS отримано матеріал на основі карбиду кремнію з добавкою 30 мас. гідроксигідрогеля, з метою синтезу його в YAG у процесі спікання. Спікання з витримкою 30 хв. при тиску аргону проводили в інтервалі температур 1700-1950 С у складі матеріалу немає залишкового Y_2O_3 або Al_2O_3 . Визначено, що YAG синтезується, починаючи з 1200 °С. У матеріалі крім YAG вихідних компонентів SiC, Y_2O_3 , Al_2O_3 у спеченому при 1400 °С залишилася велика кількість вільного Y_2O_3 та Al_2O_3 . Автори роботи [45] припустили, що у матеріалах, що містять понад 15% мас. С, а потім до температури 1950 °С YAG втрата маси збільшується до температури 1850 °С реакції розкладання пригнічені. Це пояснюється тим, що процес розкладання домінує при 1850 °С

1.5. Властивості карбиду кремнію

Карбід кремнію є високотемпературним конструкційним матеріалом і має ряд переваг: високу температуру плавлення, низьку щільність, високий рівень модуля пружності та міцності, хороший опір повзучості, стійкість до окислення та зносу. Ці властивості забезпечують використання SiC як матеріал деталей газових турбін, поршневих двигунів і теплообмінників, а також для виготовлення несучих компонентів, що працюють при високих температурах. Великим недоліком SiC є низька в'язкість руйнування в межах 2-3 МПа м^{1/2} для щільного SiC-матеріалу при температурах до 1500 К [27]. Широке поширення у промисловості SiC отримав завдяки своїй високій твердості – 20–27 ГПа. За даними діаграми стану Si-C карбід кремнію немає конгруентної точки плавлення. У закритій системі при тиску 1 МПа SiC розкладається за температури на графіт і рідкий Si. У відкритій системі карбід кремнію розкладається при 2830 ± 40 °С на газоподібний кремній та залишки графіту [1]. Карбід кремнію є хорошим напівпровідником, з забороненою шириною зоною близькою до 3 еВ для гексагональної і 2,2 еВ для кубічної структури. У процесі синтезу у структурі карбиду кремнію виникають у невеликих кількостях (0,04–0,80 % мас.) донорні та акцепторні домішки. Навіть у «особливо чистому» порошку є певна кількість домішок.

Порошок марки "UF15SiC" фірми H.C. Starck містить: до 0,03% мас. Al, 0,01% мас. Ca та 0,05 % мас. Fe. Така невелика кількість домішок може негативно впливати на ширину забороненої зони матеріалу, спеченого з цього порошку, а також на електричні властивості. Також на частинках

карбїду кремнїю є шар оксиду SiO_2 . Дрїбнозернистий ($d_{0,5} = 0,5$ мкм) порошок UF15SiC може мїстити до 1,5% мас. оксиду кремнїю. Для технїчної промисловостї порошки можна вважати хїмїчно чистими. Карбїдокремнїєві матерїали можуть бути отриманї з використанням добавок, що спїкають. Спїкання також супроводжується зростанням частинок та формуванням мїцного зчеплення мїж сусїднїми частинками з метою утворення монолїтного матерїалу. Карбїдокремнїєві матерїали умовно можна роздїлити на двї групи:

- 1) Пористї матерїали, до них вїдносяться – керамїчно-пов'язаний карбїд кремнїю (CSiC), рекристалїзований карбїд кремнїю (RSiC), реакцїйно-пов'язаний карбїд кремнїю (RBSiC);
- 2) Щїльнї матерїали з карбїду кремнїю, що включають – силїцований (реакцїйно-спечений) карбїд кремнїю (SiSiC), твердофазно-спечений карбїд кремнїю (SSiC), рїдкофазно-спечений карбїд кремнїю, гарячепресований (HPSiC) та гаряче їзостатично пресований .

Висновки у роздїлі

1. Проведено всебїчний аналїз методїв одержання карбїду кремнїю. Встановлено методи, якї застосовуються для дослїдного отримання зразкїв карбїду кремнїю, монокристалїчного карбїду кремнїю та серїйного великотоннажного виробництва.
2. Подано механїзми проведення основних технологїчних операцїй у процесї виробництва карбїду кремнїю, доведено особливостї проведення цих операцїй для рїзних способїв отримання виробїв з карбїду кремнїю.
3. Наводяться основнї властивостї карбїду кремнїю, сфери застосування рїзних видїв карбїду кремнїю.

2. Технологія виробництва карбіду кремнію

2.1. Загальний опис технологічного цеху

У пічному прольоті встановлені печі ПКСД-1 стаціонарного типу. У пічному прольоті передбачено чотири відділення для завантаження, що складаються з трьох бункерів для шихти теплоізоляції, коксу для керна та основної шихти.

Бункери призначені для шихтування завантаження печей. Завантаження реалізується пневмо-вакуумним завантажувачем ПВР-40.

Для розвантаження печей передбачено три ділянки. На цих ділянках передбачені знімні витяжні зонди та система зрошення водою для прискорення охолодження спеченої маси силосикону, аморфу та карбіду кремнію.

Для видалення газів, що виділяються, в процесі ходу печі передбачені змінні парасольки, які підключаються до системи газоочищення та пиловловлення.

У прольоті підготовки сировинних матеріалів передбачено два прямки для зберігання нафтококсу об'ємом по 840 м³, два прямки для зберігання тирси об'ємом по 840 м³, один прямок для зберігання кварцового піску обсягом 840 м³ і один прямок для зберігання повернень від виробництва карбіду кремнію об'єм.

У прольоті передбачено залізничне полотно та наскрізний проїзд для автотранспорту.

2.2 Сировинні матеріали для виробництва карбіду кремнію.

Вимоги до карбіду кремнію. Основні вимоги представлені у таблиці 2.1. Сировинними матеріалами для карбіду кремнію є:

- нафтовий кокс;
- кварцевий пісок;
- тирса;
- повернення виробництва карбіду кремнію.

Таблиця 2.1 Хімічний склад карбїду кремнію

№	№ Масова частка	Чорний карбїд кремнію, %	Зелений карбїд кремнію, %	Металургїйний карбїд кремнію, %
1	SiC, не менш	96,0	97,5	88
2	C, не менш	0,6	0,4	-
3	Fe, не менш	0,5	0,4	-

До коксу пред'являються вимоги представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Вимоги до вуглецевого відновника та марки нафтового коксу, що застосовуються при отриманні карбїду кремнію.

№	Масова частка %	КНКЭ	КС 8	КС 0
1	Волога	Менш 3	Менш 3	Менш 3
2	Летючих	Менш 6,5	Менш 9,0	Менш 11,5
3	Золи	Менш 0,3	Менш 0,6	Менше 0,8
4	Сїрки	Менш 0,3	Менш 0,6	Менш 0,8
5	Дрїбниці фракції, мм			
6	< 25	4	-	-
7	< 8	-	10	-
8	Стирання, %	Менш 13	-	-
9	Дїйсна густина після прожарювання 1300°C протягом 5 годин, г/см ² часов, г/см ²	2,08-2,13	2,08-2,13	-

До кварцового піску пред'являються вимоги, подані у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 Хімічний склад кварцового піску необхідний для одержання карбїду кремнію

№	Масова частка %	1	2
1	SiO ₂	Не менш 98	Не менш 98
2	Fe ₂ O ₃	-	Менш 0,35
3	Al ₂ O ₃	-	Менш 0,45
4	Глиняста складова	Менш 2,0	-
5	Волога	Менш 5,0	Менш 5,0
6	Дрібниця фракції, мм		
7	Менш 0,25	Менш 5,0	-
8	Менш 0,315	-	Менш 10,0
9	Менш 0,22	-	Менш 2,0

Основні вимоги до тирси:

- тирса повинна бути, в основному, листяних порід дерев;
- вміст золи не повинен перевищувати 3%;
- вологість тирси не вище 3%;
- максимальний лінійний розмір частинок трохи більше 15 мм.

Вимоги до повернень:

- фракційний склад повернення не повинен містити частинок розміром більше 2,5 мм.

2.3. Підготовка сировинних матеріалів

2.3.1 Витрата сировини для одного завантаження

На завантаження однієї печі необхідно:

Коксу 130т;

Піску 94т;

Тирса 16т;

Повернення 22т.

Виробничі запаси на 10 діб становитимуть:

Коксу 1300т;

Піску 940т;

Тирса 160т;

Повернення 220т.

Виробничі запаси коксу, піску та тирси (деревини) завозяться автотранспортом і засипаються через тічки по ряду А у підземні приямки для зберігання.

2.3.2. Підготовка сировини за операціями

На ділянку підготовки тирси подається неділова деревина з підземного приямка для постійного зберігання у вигляді, підготовленому для переробки на машині дроблення . Подача провадиться краном.

Робочі вручну подають її до завантажувального пристрою подрібнення машини.

З машини дроблення тирсу через проміжний бункер шнековим живильником подаються в сушильний барабан. Просушена тирса шнековим

живильником подається в бункери на ділянки приготування шихти та теплоізоляційної шихти.

На ділянку підготовки пісок завозиться з приймки постійного зберігання грейфером і засипається в завантажувальний бункер. З завантажувального бункера пісок надходить по транспортеру в машину для відмивання. З відмивальної машини пісок надходить транспортером в сушильний барабан, з якого він пневмо-вакуумним завантажувачем надходить в бункера, на ділянки приготування шихти і теплоізоляції. Якщо для піску, що надходить на завод, вміст глинистої фракції менше 0,5%, операцію відмивання допускається не проводити. І тут пісок з бункера по транспортеру відразу подається в сушильний барабан.

Виробничі повернення у вигляді аморфу та силосикону з ділянок розвантаження заводським транспортом (автотранспортом) подаються на ділянку підготовки повернень.

На ділянці підготовки проводиться дроблення на молотковій дробарці.

Дроблене повернення транспортером передається на валкову дробарку і у вигляді порошку з розмірами частинок не більше 2,5 мм пневмо-вакуумним навантажувачем подається в бункер на ділянку отримання шихти.

Великокусковий кокс із підземного приймка для зберігання грейфером завантажується в проміжний бункер, з якого кокс транспортером передається на переробку. Транспортером подається на молоткову дробарку, з якою транспортером подається на сушильний барабан. З сушильного барабана транспортером подається на гуркіт.

Шматки з розміром понад 50 мм повертаються на молоткову дробарку.

Шматки з розміром -50 ... +25 мм відбираються і транспортером подаються в бункери для формування керна (пічний проліт).

Фракції менше 25 мм подаються на валкову дробарку. З дробарки кокс подається транспортером на гуркіт. Фракції понад 0,5 мм і менше 2,5 мм подаються пневмо-вакуумним навантажувачем у бункер шихти, а менше 0,5 мм – у бункер теплоізоляції, розташовані на ділянці приготування шихти та теплоізоляції.

2.3.3 Підготовка шихти

З бункера тирси через дозатор тирси шнековим живильником подаються в змішувач.

З бункера піску через дозатор пневмо-вакуумним навантажувачем пісок подається до змішувача.

З бункера повернень через дозатор повернення пневмо-вакуумним завантажувачем подаються до змішувача.

З бункера шихти кокс через дозатор пневмо-вакуумним завантажувачем подається до змішувача.

Зі змішувача шихта подається пневмо-вакуумним завантажувачем у бункери готової шихти, встановлені на пічній ділянці.

Теплоізоляційна шихта

З бункерів піску та коксу теплоізоляційного пневмо-вакуумним завантажувачем через дозатори пісок та кокс подаються до змішувача. З бункера через дозатор тирса шнековим живильником подаються до змішувача.

Зі змішувача теплоізоляційна шихта пневмо-вакуумним завантажувачем подається в 4 бункери, що знаходяться на пічній ділянці.

2.3.4 Завантаження печі

Складання печі полягає в установці торцевої стінки, установці днища з транспортного візка .

Торцева стінка встановлюється краном. Днище завозиться під піч на возі. З віза гідродомкратами днище піднімається в установче місце печі. Під днище підводяться поперечні балки, на які днище опускається віз звільняється і перекочується на вільне місце.

Після установки торцевої стінки проводиться підключення до електрошин короткої мережі, які виходять в зону трансформатора. Підключення виконується стяжними болтами.

Проводиться перевірка та закладення щілин між стінками печі, днищем та торцевими стінками. Зазори між днищем та піччю закриваються відпрофільованими вставками з термостійкого матеріалу.

З бункера теплоізоляційна шихта пневмо-вакуумним завантажувачем ПВР-40 засипається і пневматичним трамбуванням утрамбується на днищі печі до заданої висоти 600 мм.

Встановлюються опоки в які по бічних каналах засипається і пневматичною трамбуванням утрамбується теплоізоляційна шихта, в центральну частину засипається і пневматичною трамбуванням утрамбується шихта. Після цього забираються опоки та встановлюється за шаблонами комплект інших опок

Уздовж бічних стін засипається ПВР-40 і пневматичним трамбуванням утрамбується теплоізоляція. У центральну опоку засипається грейфером і пневматичною трамбуванням утрамбується кокс керна. У два бічні канали засипається ПВР-40 і пневматичною трамбуванням утрамбується шихта.

Опоки виймаються та встановлюється комплект нових опок.

Уздовж стінок печі ПВР-40 засипається і пневматичною трамбуванням трамбується теплоізоляція. У центральну частину засипається ПВР-40 шихта.

Опоки виймаються та встановлюється комплект нових опок.

Уздовж бічних стінок ПВР-40 засипається і пневматичною трамбуванням утрамбується теплоізоляція. У центральну опоку та бічні опоки засипається ПВР-40 і пневматичною трамбуванням трамбується шихта. У два канали, що залишилися, грейфером засипаються і пневматичною трамбуванням трабуються два керни. Опоки виймаються та встановлюється інший комплект опок.

Вздовж стінок печі засипається ПВР-40 і пневматичним трамбуванням трамбується теплоізоляція. У центральну частину ПВР-40 засипається і пневматичною трамбуванням утрамбується шихта.

Опоки виймаються і засипається ПВР-40 і пневматичною трамбовкою втрамбується теплоізоляція до верху стін печі. Над піччю краном встановлюється парасолька та підключається до вентиляційної системи.

2.3.5 Хід печі

Трансформатор підкочується рейковим шляхом до електрошин печі, готової до проведення пічного режиму.

Стяжними болтами реалізується підключення вторинної обмотки трансформатора до електрошин короткої мережі.

2.3.6 Вивантаження печі

Охолодження печі під парасолькою одну добу. Парасолька знімається та встановлюється над іншою піччю, готовою до проведення режиму.

Охолодження до температури верхніх шарів теплоізоляції не вище 250 0С без парасольки – до однієї доби.

Відбирає сипучу частину теплоізоляції протягом однієї зміни реверсивним пневмо-вакуумним розвантажувачем ПВР-40 з подачею в бункер теплоізоляції.

Після відбору теплоізоляції вручну звільняються графітові електроди торцевих стін печі від коксу керна. Торцева стінка краном знімається та встановлюється на підготовленому майданчику.

Потім проводиться відстиківка днища з частиною садка, що залишилася, на транспортний віз і перевозиться на ділянку розвантаження.

Транспортний візок встановлюється під днище печі. Гідродомкратами днище піднімається. Забираються поперечні балки і днище опускається на віз.

На ділянці розвантаження проводиться охолодження спеклої садки протягом чотирьох діб з зрошенням водою. Тривалість циклу поливу від 3 до 10 хвилин, випаровування вологи протягом 9 – 10 хвилин, кількість циклів поливу 20 – 25 разів. Загальна витрата води 25-30 м³ на одну піч.

Виготовляється ручне розбирання із застосуванням ручного інструменту аморфу та силосикону, які затарюються у короби. Короби

заводським транспортом (автомобілем) передаються на ділянку підготовки повернень.

Ручне розбирання спеченого садка проводиться протягом однієї доби.

У ручну розбивається спечений карбід кремнію і із застосуванням кранових захватів затарюється у короби. Заводським транспортом (автомобілем) короби перевозяться на ділянку розбраковування карбіду кремнію.

Прографітований кокс керна грейфером затарюється у заводський транспорт (автомобіль) і вирушає на ділянку підготовки коксу.

Звільнене днище встановлюється на транспортний віз і монтується на іншу, підготовлену для завантаження піч.

2.3.7 Розбраковування карбіду кремнію

Карбід кремнію дробиться на молотковій дробарці і транспортером передається на валкову дробарку. З валкової дробарки карбід кремнію передається на електромагнітний барабанний сепаратор.

Магнітна фракція пневмо-вакуумним розвантажувачем відправляється в бункер магнітної фракції.

Немагнітна фракція карбіду кремнію пневмо-вакуумним розвантажувачем передається на гуркіт. Фракції з різним гранулометричним складом пневмо-вакуумними навантажувачами ПВР-40 подаються до бункера готової продукції.

2.4. Структура технологічних ділянок

Структура та склад обладнання ділянок виробництва карбіду кремнію представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 Склад технологічних ділянок

№	Найменування	Площа покриття (м ²)	Загальна площа (м ²)	Примітка
1	Приямок для зберігання кварцового піску	168*1	168	1980 т на місяць
2	Приямок для зберігання нафтококсу	168*2	336	2715 т на місяць
3	Приямок для зберігання деревини	168*2	336	358 т на місяць
4	Приямок для зберігання повернень	84*1	84	462 т на місяць
5	Ділянка підготовки коксу	357,3	357,7	Дробарка СМ 421
6	Ділянка підготовки піску	238,2	238,2	Грохот ГР 115
7	Участок підготовки опилок	238,2	238,2	Рубільна машина МРЕГ 300-75 Сушило барабанне Шнековий живильник (2 шт)
8	Участок підготовки возвратов	238,2	238,2	Дробарка молоткова СМ 421/2 Дробарка валкова СМК-88 Грохот СМ 742 Сепаратор електромагнітний валкового

				типу ЕВС-36/50 Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 Транспортер
9	Ділянка підготовки шихти	268	268	Дозатор АВДІ-425 Змішувач СМК-126 Шнековий живильник Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (4 шт)
10	Ділянка підготовки теплоізоляції	238,2	238,2	Дозатор АВДІ-425 Змішувач СМК-126 Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (3 шт) Шнековий живильник
11	Ділянка №1 Завантаження печей	270	270	Піч ПКСД-1 Бункер шихти Бункер керна Бункер теплоізоляції Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (3 шт)
12	Ділянка №2 Завантаження печей	270	270	Піч ПКСД-1 Бункер шихти Бункер керна

				Бункер теплоізоляції Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (3 шт)
13	Ділянка №3 Завантаження печей	270	270	Піч ПКСД-1 Бункер шихти Бункер керна Бункер теплоізоляції Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (3 шт)
14	Ділянка №4 Завантаження печей	270	270	Піч ПКСД-1 Бункер шихти Бункер керна Бункер теплоізоляції Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (3 шт)
15	Ділянка №1 Розвантаження печей	162	162	Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40. Ручний інструмент Кранові захоплення Грейфер
16	Ділянка №2 Розвантаження печей	162	162	Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40. Ручний інструмент Кранові захоплення Грейфер

17	Ділянка № 3 Розвантаження печей	162	162	Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40. Ручний інструмент Кранові захоплення Грейфер
18	Трансформаторне відділення	1080	1080	Трансформатор
19	Ділянка підготовки товарного карбиду кремнію.	268	268	Дробарка молоткова СМ 421/2 Дробарка валкова СМК-88 Сепаратор електромагнітний валкового типу ЕВС-36/50 Транспортер Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40 (2шт)
20	Ремонтна ділянка	390	390	
21	Компресорна станція	60	60	Компресор
22	Станція вакуумна	60	60	Вакуумна установка

Висновки у розділі

1. Всебічно розглянуті сировинні матеріали, властивості та технологія їх підготовки. Особливу увагу звернено на технологію підготовки шихти.

2. Розглянуто питання підготовки пічної ділянки в цілому та печі особливо: завантаження печі, хід печі, вивантаження готової продукції.

3. Докладно розглянуто структуру ділянок цеху, запропоновано склад технологічного обладнання по кожній ділянці та їх функціональні особливості.

3 Організація виробництва карбіду кремнію

3.1 Загальний опис цеху з виробництва карбіду кремнію

Будівля цеху має довжину 240 м, складається з 2-х прольотів – проліт А(склад сировинних матеріалів) шириною 24 метри, проліт Б (пічний проліт) шириною 20 метрів та відкрита естакада пічного трансформатора завширшки 6 метрів. Будівля по голівці рейки підкранової колії має висоту 15 метрів та загальну висоту по покрівлі будівлі – 18 метрів.

У пічному прольоті Б розташовані чотири печі ПКСД-1 із габаритними розмірами 22x5,4x3,8 м.

У складі сировинних матеріалів прольоту А розташовані підземні прямки для зберігання сировинних матеріалів та ділянки з підготовки піску, тирси, повернень, шихти, теплоізоляції та коксу.

Для завантаження в підземні прямки сировинних матеріалів передбачені завантажувальні тічки, які розташовані в отворах між колонами вздовж стіни ряду А.

Всі завантажувальні тічки повинні закриватися кришками, які піднімаються під час вивантаження сировини з автомобіля у підземні прямки.

У прибудові до пічного прольоту на відкритій естакаді встановлено пічний трансформатор, який має можливість пересуватися рейковою колією. Пересування трансформатора передбачено на возі, де змонтований електропривод.

У будівлі до ділянок розвантаження печей (для зрошення садки печей при охолодженні) та до ділянки підготовки піску (для його відмивання) має бути підведений трубопровід холодної води. На ділянках завантаження печей ПКСД-1 передбачити встановлення системи пожежогасіння.

Відпрацьована вода зливається у заводську систему каналізації.

Для роботи сушильних барабанів на ділянках підготовки піску, підготовки тирси та підготовки коксу повинен бути підведений трубопровід природного газу.

Обидва прольоти А та Б повинні бути забезпечені загальною витяжною вентиляцією. Для утилізації оксиду вуглецю має бути поставлена система допалювання, яку необхідно спроектувати індивідуально під печі ПКСД-1.



Технічні служби, необхідні для організації, управління та контролю виробництва карбіду кремнію:




- 1) Служба головного технолога: бюро підготовки виробництва; технологічне бюро; конструкторське бюро.
- 2) Служба головного енергетика: бюро теплоенергетика; бюро електротехнічне; бюро АСУ та зв'язку; заводська АТС.
- 3) Служба аналізу та контролю: бюро технологічного контролю; лабораторія спектрально-хімічного аналізу
- 4) Служби підготовки виробництва: відділ постачання; відділ збуту; виробничий відділ; канцелярія; відділ кадрів.
- 5) Економічні служби: планово-фінансовий відділ; бухгалтерія.




3.2. Технологічне обладнання по ділянках

Типи та марки основного обладнання, його застосування та технологічні характеристики представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технологічні характеристики основного обладнання

№	Обладнання	Застосування	Габарити	Продуктивність	Потужність	Примітка
1	машина МРЕГ 300-75	Дроблення деревини (1 шт)	1000x500x700	16-20 м ³ /час	75 кВт	
2	Сушило барабанне СГМ45	Сушіння тирси (1шт) Сушіння піску (1 шт) Сушіння коксу (1 шт)		15 т/час		

3	Дробарка молоткова СМ 421/2 (1шт)	Дроблення коксу (1шт) Дроблення повернень (1шт) Дроблення товарного карбіду кремнію	Діаметр 800 Довжина 600	10-24 т/ч	55 кВт	
4	Гуркіт Гр 115	Гуркіт коксу (1шт)		7 м ³ /ч		
5	Гуркіт СМ-742	Гучіння повернення (1 шт) Гучіння коксу (1шт)		7 м ³ /ч		
6	Дробарка валкова СМК-12	Дроблення коксу (1шт)	3800 х 3200 х 1220	25м ³ /ч	30 кВт	
7	Дробарка валкова СМК-88	Дроблення коксу (1шт) Дроблення повернення (1шт) Дроблення товарного карбіду кремнію (1шт)	3800 х 3200 х 1220	25м ³ /ч	30кВт	

8	Сепаратор електромагнітний валкового типу ЕВС-36/50	Магнітна сепарація повернень (1шт) Магнітна сепарація товарного карбїду кремнію (1шт)				
9	Дозатор АВДІ-425	Приготування теплоізоляційної шихти (3 шт) Приготування шихти (4 шт.)	1510x1140x2140			
10	Змішувач СМК-126	Змішування шихти(1шт) Змішування теплоізоляції (1 шт)		35 м3/ч	40 кВт	
11	Пристрій для відмивання піску ХСД 2610)	Відмивання піску (1шт)	6500 x 2020 x 2946	20 т/ч	5,5 кВт	
12	Шнековий живильник БКВ-160	Ділянка підготовки тирси (2шт) Ділянка підготовки шихти	определяються по месту	10 т/ч	15 кВт	

		(1шт) Ділянка підготовки теплоізоляції (1шт)				
13	Пневмо-вакуумний навантажувач ПВР-40	Ділянка підготовки коксу (1шт) Ділянка підготовки піску (1шт) Ділянка підготовки повернень (1шт) Ділянка підготовки шихти (1шт) Ділянка підготовки теплоізоляції (1шт) Ділянка №1 завантаження печей (3шт) Ділянка №2 завантаження печей (3шт) Ділянка №1 розвантаження печей (1шт)				

	Ділянка №2 завантаження печей (1шт)				
	Ділянка №3 завантаження печей (1шт)				
	Ділянка підготовки товарного карбіду кремнію (2шт)				

3.3 Організація робіт зі змін

Організація змінної роботи цеху має важливе загальновиробниче, технологічне, економічне та соціальне значення. Для виконання поставлених завдань розробляється цикловий графік роботи основного обладнання. Точне виконання циклового графіка забезпечує випуск якісного карбіду кремнію обсягом планового випуску готової продукції.

Цикловий графік роботи пічної ділянки представлений у табл.3.2.

Таблиця 3.2 - Цикловий графік роботи пічної ділянки за змінами

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	
										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	1	1
2					1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4
3									1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
4													1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	1	1	2	2	2	2

1, 2, 3, 4 – номери печей;

1 - Завантаження печі; 2 – Хід печі; 3 - Охолодження з піччю; 4 - Вивантаження теплоізоляційної шихти; 5 – Вивіз та монтаж печі

3.4. Захист довкілля, охорона здоров'я та праці, пожежна безпека

3.4.1 Захист навколишнього середовища

Очищення стічних вод

Очищення стічних вод головним чином включає промислові стічні води та ґрунтові стічні води.

Стічні води формуються на ділянках відмивання піску та розбирання печей. Стічні води стікають у заводську каналізаційну систему.

Очищення від пилу

В основному пил виникає на ділянках дроблення коксу, зворотних відходів, підготовки тирси, підготовки товарного карбіду кремнію та на ділянках розбирання печей. На цих ділянках передбачено загальну та локальну вентиляційну систему, яка спрямовується в систему газоочищення та пиловловлення (див. Додаток Б).

Рівень шуму та вібрації.

Контроль за шумом та вібрацією відповідає місцевому стандарту.

3.4.2 Безпека на робочому місці

Загальні питання безпеки.

При виробництві карбіду кремнію необхідно керуватися «Правилами техніки безпеки та виробничої санітарії для підприємств абразивної промисловості», інструкціями з охорони праці за професіями виробництва, затвердженими в установленому порядку документами:

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожежна безпека. Загальні вимоги.

ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.

ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ Процеси виробничі. Загальні вимоги до безпеки.

НПАОП 0.00-1.20-98 Правила безпеки систем газопостачання України.

ДБН 2.04.01-91 Внутрішній водопровід та каналізація будівель.

ДБН 2.04.05-91 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

ДБН 2.09.04-87 Адміністративні та побутові будівлі.

ДБН В.2.5-28-2006 Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків та споруд. Природне та штучне освітлення.

ДНАОП 0.03-1.07-73 Санітарні правила організації технологічних процесів та гігієнічні вимоги до виробничого обладнання №1042-73.

ДСН 1757-77 Санітарно-гігієнічні норми допустимої напруги електростатичного поля.

ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

ДСН 3.3.3.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

ДСП 201-97 Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними речовинами).

Безпека пічного прольоту.

У пічному прольоті необхідно встановити:

- датчики контролю концентрації оксиду вуглецю із системою звукової та світлової сигналізації у разі перевищення гранично-допустимої концентрації;

- заземлення металоконструкцій печей ПКСД-1;

- захисних огорож струмопідводів печей та шинопакетів короткої мережі;

- датчиків температури в бункерах шихти та теплоізоляційної шихти з автоматичною подачею захисних газів (азот, аргон) у разі самозаймання;

- захисних огорож площадок обслуговування печей ПКСД-1.

Організувати систематичний контроль цілісності витяжних парасольок для печей ПКСД-1.

Безпека у прольоті підготовки сировинних матеріалів.

Передбачити витяжні парасольки, підключені до витяжної вентиляції, таких ділянок:

- підготовки коксу;
- підготовки піску;
- підготовки тирси;
- ділянка підготовки повернень;
- ділянка підготовки шихти;
- ділянка підготовки теплоізоляційної шихти;
- ділянка підготовки товарного карбїду кремнію.

Встановити на ділянках підготовки тирси, піску, коксу, шихти та теплоізоляційної шихти пожежні гідранти.

Встановити захисні огорожі для складів довгострокового зберігання сировинних матеріалів.

Висновки у розділі

1. Подано особливості роботи та структури цеху. Позначено технологічну логістику, загальне розміщення ділянок та обладнання.

2. Надається розподіл технологічного обладнання, наводяться основні характеристики обладнання, кількісний склад.

3. Розглянуто загальну організацію виробничої роботи цеху та пічної ділянки по кожній печі. Розроблено циклограму роботи пічної ділянки за кожною зміною на місячний період.

4. Наведено результати щодо заходів захисту навколишнього середовища та безпеки праці на робочих місцях.

Загальні висновки

1. Наводяться основні властивості карбіду кремнію, сфери застосування різних видів карбіду кремнію. Встановлено методи, які застосовуються для дослідного отримання зразків карбіду кремнію, монокристалічного карбіду кремнію та серійного великотоннажного виробництва.
2. Подано механізми проведення основних технологічних операцій у процесі виробництва карбіду кремнію, доведено особливості проведення цих операцій для різних способів отримання виробів з карбіду кремнію.
3. Всебічно розглянуті сировинні матеріали, властивості та технологія їх підготовки. Особливу увагу звернено на технологію підготовки шихти. Докладно розглянуто структуру ділянок цеху, запропоновано склад технологічного обладнання по кожній ділянці та їх функціональні особливості.
4. Подано особливості роботи та структури цеху. Надається розподіл технологічного обладнання, наводяться основні характеристики обладнання, кількісний склад.
5. Розглянуто загальну організацію роботи кожній ділянці. Розроблено циклограму роботи північної ділянки на місячний період.
6. Наведено результати щодо заходів захисту навколишнього середовища та безпеки праці на робочих місцях.

Література

1. Riedel, R. Handbook of ceramic hard materials / R. Riedel // 1st ed. Weinheim: Wiley–VCH. 2000. V. 2. P. 683–748
2. Prochazka, S. Final Report SRD 72 –171, General Electric, Schenectady, New York, 1972.
3. Kistler–De Coppi, P.A. Phase transformation and grain growth in silicon carbide powders / P.A. Kistler–De Coppi, W. Richarz // International journal of high technology ceramics. 1986. V. 2, № 2. P. 99–113.
4. Meier, B. Characterization of SiC–platelets / B. Meier, R. Hamminger, E. Nold // Microchimica Acta. 1990. V. 101, № 1–6. P. 195–205.
5. Prochazka, S. Sintering of silicon carbide, Technical Report 73 CRD325, General Electric Co. 1973.
6. Coppola, J.A. Silicon carbide powder compositions / J.A. Coppola, H.A. Hawler, C.H. McMurtry // U.S. Patent № 4123286. Опыбл. 31.10.1978. – 5 с.
7. Raffeniolo, W. Fabrication and characteristics of SiC–AlN alloys / W. Raffeniolo, K. Cho, A.V. Virkar // J. Mater. Sci. 1981. V. 16. P. 3479–3488.
- 8 Omori, M. Pressureless sintering of SiC / Omori M., H. Takei // J. Am. Ceram. Soc. 1982. V. 65. P. 92.
- 9 . Padture, N.P. In Situ–Toughened Silicon Carbide / N.P. Padture // J. Am. Ceram. Soc. 1994. V. 7, № 2. P. 519–523.
10. Lee, R.R. Fabrication, Microstructure, and Properties of SiC–AlN Ceramic Alloys / R.R. Lee, W.C. Wei // Ceram. Eng. Sci. Proc. 1990. V. 11. P. 1094. 291
11. Chia, K.Y. Silicon carbide bodies having high toughness and fracture resistance and method of making same / K.Y. Chia, W.D.G. Bocker, R.S. Storm // U.S. Patent № 5298470. Опыбл. 29.03.1994
12. Shur Ed.M. SiC Materials and Devices / Ed.M. Shur, S. Rumyantsev, M. Levinstein – V. 1. – Singapore: World Scientific, 2007. – 334 p.
13. Vodakov, Y.A. Epitaxial growth of silicon carbide layers by sublimation „sandwich method" (I) growth kinetics in vacuum / Yu.A. Vodakov, E.N. Mokhov, M.G. Ramm, A.D. Roenkov // Kristall und Technik. – 1979. – V. 14. – № 6. – P. 729- 740.

14. Агеев О.А. Карбид кремния: технология, свойства, применение / О.А. Агеев, А.Е. Беляев, Н.С. Болтовец, В.С. Киселев, Р.В. Конакова, А.А. Лебедев, В.В. Миленин, О.Б. Охримченко, В.В. Поляков, А.М. Светличный, Д.И. Чередниченко. – Харьков: ИСМА, 2010. – 532 с.
15. Nishino, S. Production of large-area single-crystal wafers of cubic SiC for semiconductor devices / S. Nishino, J.A. Powell, H.A. Will // *Applied Physics Letters*. – 1983. – V. 42. – №. 5. – P. 460-462.
16. Rodeghiero, E.D. Sol–gel synthesis of ceramic matrix composites / E.D. Rodeghiero, E.P. Giannelis // *Materials Science and Engineering: A*. – 1998. – V. 244. – №. 1. – P. 11-21.
17. Klein, L.C. Kinetics of the sol/gel transition / L.C. Klein, G.J. Garvey // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 1980. – V. 38. – P. 45-50.
18. Торбов, В.И. Плазмохимический синтез нанодисперсного карбида кремния / В.И. Торбов, И.Л. Балихин, В.И. Берестенко, О.Д. Торбова, О.М. Гребцова, С.В. Гуров, Е.Н. Куркин // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. – 2008. – №. 9. – С. 93-98.
19. Хаггерти Д. Индуцируемые лазером химические процессы / Д. Хаггерти, У. Кеннон. – М: Мир, 1984. – 309 с.
20. Kavecký, Š. Silicon carbide powder synthesis by chemical vapour deposition from silane/acetylene reaction system / Š. Kavecký, B. Janeková, J. Madejová, P. Šajgalík // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2000. – V. 20. – №. 12. – P. 1939-1946.
21. Мержанов, А.Г., Боровинская И.П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская // *Доклады АН СССР*. – 1972. – Т. 204. – С. 366-369.
22. Yajima, S. Development of a silicon carbide fibre with high tensile strength / S. Yajima, J. Heyashi, M. Omori, K. Okamura // *Nature*. 1976. V. 261. P. 683–685.
23. Inomata, Y. Relation between growth temperature and the structure of SiC crystals grown by sublimation method / Y. Inomata, Z. Inoue, M. Mitomo, H. Suzuki // *Yogyo–Kyokai–Shi*. 1968. V. 76. P. 313–319.

24. Shaffer, P.T.B. Problems in silicon carbide device development / P.T.B. Shaffer // Mater. Res. Bull. 1969. V. 4. P. 13–24.
25. Knippenberg, W.F. Growth Phenomenon in Silicon Carbide / Knippenberg W.F. // Philips Research Reports. 1963. V. 18, № 3. P. 161–274.
26. Foster, D. Densification of Silicon Carbide with Mixed Oxide Additives, PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne. 1996
27. Chen, D. Role of the grain-boundary phase on the elevated-temperature strength, toughness, fatigue and creep resistance of silicon carbide sintered with Al, B and C / D. Chen, M.E. Sixta, X.F. Zhang, L.C. De Jonghe, и др. // Acta Materialia. 2000. V. 48. P. 4599–4608.
28. Гаршин, А.П. Конструкционные карбидокремниевые материалы / А.П. Гаршин, В.В. Карлин, Г.С. Олейник, В.И. Островерхов // Л.: Изд. Машиностроение. 1975. – 152 с.
29. Ogawa, H., Yasuda A., Shibata N., Ikuhara Y. et al. // Ceram. Forum int. 1997. V. 74, №4. P.199–203. 30. Chakrabarti, O.P. Influence of free silicon content on the microhardness of RBSiC / O.P. Chakrabarti, P.K. Das, J. Mukerji // Ceram. Forum Int. 1997. V. 74, № 2. P. 98–101.
32. Sangsuwan, P. Reaction-bonded silicon carbide by reactive infiltration / P. Sangsuwan, J.A. Orejas, J.E. Gatica, S.N. Tewari ets. // Industrial & engineering chemistry research. 2001. V. 40, № 23. P. 5191–5198.
33. Rahaman, M.N. Ceramic processing and sintering / M.N. Rahaman // 2nd ed. N.Y.: New York–Basel: Marcel Dekker Inc. 1996. P. 32–36.
34. Prochazka, S. Sintering of Silicon Carbide, in Ceramics for High Performance Applications / S. Prochazka, J.J. Burke // Columbus, OH: Metals and Ceramic Infomation Center. 1974. P. 239–252.
35. Murata, Y. Densification of SiC by addition of BN, BP and B₄C, and correlation to their solid solubilities / Y. Murata, R.H. Smoak // Proceedings of International Symposium on Densification and Sintering, Oct, 1978.: Hakone/Japan, Somiya, S. and Saito, S. eds, Gakujutsu Bunken, Tukyа–Kai, Tokyo. 1979. P. 382–399.
36. Coppola, J.A. Metod of producing high density silicon carbide product / J.A. Coppola, R.H. Smoak // US Patent № 4080415. Оpubл. 21.3.1978. – 3с.

37. Suzuki, K., Pressureless sintering of SiC with addition of Al₂O₃, in SiC Ceramics, vol. 2 / K. Suzuki, S. Somiya, Y. Inomata // London: Elsevier. 1991. P. 163–182.
38. Rahaman, M.N. Ceramic processing and sintering / M.N. Rahaman // 2nd ed. N.Y.: New YorkBasel: Marcel Dekker Inc. 1996. P. 620–624.
39. Cutler, R.A. Ceramic materials and components for engines. / R.A. Cutler, T.B. Jackson, V.J. Tennery // Proceedings of the Third International Symposium.: Westerville, OH: The American Ceramic Society. 1989. P. 309–318.
40. Winn, E.J. Role of the Powder Bed in the Densification of Silicon Carbide Sintered with yttria and alumina additives / E.J. Winn, W.J. Clegg // J. Am. Ceram. Soc. 1999. V. 82. №. 12. P. 3466–3470.
41. Pujar, V.V. Densification of liquidphase-sintered silicon carbide / V.V. Pujar, R.P. Jensen, N.P. Padture // Journal of Materials Science Letters. 2000. V. 19. P. 1011–1014.
42. Grande, T. Effect of Weight Loss on Liquid-Phase-Sintered Silicon Carbide / T. Grande, H. Sommerset, E. Hagen, K. Wiik, M–A. Einarsrud // J. Am. Ceram. Soc. 1997. V. 80, №. 4. P. 1047–1052.
43. Vassen, R. Processing and Properties of Nanograin Silicon Carbide / R. Vassen, D. Stover // Journal of the American Ceramic Society. 1999. V. 82, №. 10. P. 2585–2593.
44. Hue, F. Analysis of the Weight Loss During Sintering of Silicon-Carbide Whisker-reinforced Alumina Composites / F. Hue, Y. Jorand, J. Dubois, G. Fantozzi // Journal of the European Ceramic Society. 1997 V. 17. P. 557–563.
45. Shinoda, Y. Super plasticity of Silicon Carbide / Y. Shinoda, T. Nagano, H. Gu // Journal of the American Ceramic Society. 1999. V. 82, №. 10. P. 2916–2918