

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять

з навчальної дисципліни «Хімічні технології тонкої і технічної кераміки»

для студентів денної та заочної форм навчання

за спеціальністю G1 «Хімічні технології та інженерія»

Затверджено
редакційно-видавничою радою
університету,
протокол № 1 від 13.02.2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки для практичних занять з навчальної дисципліни «Хімічні технології тонкої і технічної кераміки» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю G1 «Хімічні технології та інженерія» / уклад.: О.Ю. Федоренко, Г.В. Лісачук, Р.В. Кривобок, В. Ю. Баглай. – Харків; НТУ «ХП», 2025.– 79 с.

Укладачі: О.Ю. Федоренко
Г.В. Лісачук
Р.В. Кривобок
В.Ю.Баглай

Рецензент О.М. Борисенко

Кафедра технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей

ВСТУП

Дисципліна «Хімічні технології тонкої і технічної кераміки» є вибірковою дисципліною з циклу професійно-орієнтованих дисциплін за напрямком «Керамічні, композиційні, скло- та наноматеріали для техніки, медицини та арт-дизайну» при підготовці студентів за спеціальністю «Хімічні технології та інженерія».

Мета вивчення дисципліни – формування інженерних знань та забезпечення необхідних компетенцій при підготовці студентів для роботи в наукових установах і науково-дослідних підрозділах підприємств з виробництва тонкої та технічної кераміки.

В результаті вивчення дисципліни студенти отримують глибоке розуміння взаємозв'язку між властивостями вихідних матеріалів, параметрами технологічного процесу, структурно-фазовими особливостями і властивостями готових виробів, здатність аналізувати фізико-хімічні процеси, що відбуваються в матеріалах. Практична частина занять забезпечує набуття навичок проведення технологічних розрахунків складів технологічних сумішей для отримання тонкої та технічної кераміки із заданими фазовим складом і властивостями, а також ознайомлює студентів з особливостями приготування технологічних сумішей, що є невід'ємною складовою знань та умінь висококваліфікованого фахівця підприємств з виробництва тонкої і технічної кераміки.

Для опанування комплексом необхідних технологічних розрахунків студентам пропонується ознайомитись із загальними відомостями щодо конкретних випадків їх практичного використання, алгоритмом та прикладами розрахунків. Закріплення матеріалу контролюється викладачем при вирішенні завдань за кожним з розділів згідно з індивідуальними варіантами, наданими викладачем.

Розділ 1. КЛАСИЧНА ТОНКА КЕРАМІКА

1.1 Технологічні розрахунки, що враховують зміну вологості сировини та технологічних сумішей

1.1.1 Вологість матеріалів та способи її подання

На практиці часто доводиться визначати кількість матеріалу, вологість якого змінюється при проходженні ним різних технологічних операцій, наприклад, при зволоженні шихти для отримання пластичної маси або шлікеру, формуванні напівфабрикатів, їх сушінні, випалі тощо. Для цього використовують технологічні розрахунки, які дозволяють встановити кількість матеріалу після його зволоження або навпаки – після видалення вологи. Результати таких розрахунків використовуються також при подальших обчисленнях, які мають велике значення при конструюванні різних видів обладнання і проєктуванні виробничих ліній, наприклад, для визначення витрат тепла на видалення заданої кількості вологи, розрахунків продуктивності масопереробного та теплотехнічного обладнання, обрахування об'єму ємностей для зберігання зволжених сумішей (бункерів, басейнів тощо).

Не менш важливими є розрахунки, які дозволяють визначити кількість матеріалів при зміні рівня їх вологості (наприклад, при частковому зневодненні шлікерів на фільтр-пресах, при отриманні вологих прес-порошків у результаті переробки шлікерів у баштових розпилювальних сушарках, при виготовленні пластичної маси шляхом дозволоження сировинних матеріалів з урахуванням їх природної вологості тощо).

Деякі розрахункові методи дозволяють встановити не лише кількість матеріалів при складанні технологічної суміші із заданою вологістю, а й встановити інші технологічні параметри її виготовлення (кількість подрібнюючих тіл, води та корегуючих добавок). Це дозволяє, наприклад, визначити рецептуру заправки млинів при виготовленні шлікерів мокрим помелом.

При розрахунках кількості вологих матеріалів використовують такі характеристики, як абсолютна та відносна вологість. Абсолютну вологість W_a , або вологість, яку віднесено до висушеної до постійної ваги наважки речовини, знаходять за формулою:

$$W_a = \frac{g_0 - g_1}{g_1} \cdot 100 \quad \% \quad (1.1)$$

Відносну вологість $W_{\text{відн}}$, або вологість матеріалу, віднесену до його ваги, визначають за формулою

$$W_{\text{відн}} = \frac{g_0 - g_1}{g_0} \cdot 100 \%, \quad (1.2)$$

де g_0 – маса вологого матеріалу, г; g_1 – маса матеріалу, висушеного до постійної ваги, г.

Співвідношення між абсолютною та відотною вологістю виражається залежностями

$$W_{\text{відн}} = \frac{W_a \cdot 100}{(100 + W_a)} \quad (1.3)$$

$$W_a = \frac{W_{\text{відн}} \cdot 100}{(100 - W_{\text{відн}})} \quad (1.4)$$

1.1.2 Перерахунок кількості вологого матеріалу на суху речовину

У тому випадку, коли матеріал, кількість якого в рецептурі технологічної суміші подана на суху речовину, надходить у виробництво у зволоженому вигляді (пасти, суспензії тощо), необхідно здійснити розрахунок його кількості на суху речовину. Перерахунок кількості вологого матеріалу на суху речовину ведуть за формулами

$$X = \frac{g \cdot (100 - W)}{100}, \quad (1.5)$$

де g – вихідна маса вологого матеріалу, г; W – вологість матеріалу, %.

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Приклад 1. Визначити масу сухого матеріалу, отриманого в результаті зневоднення 500 кг керамічного шлікеру з вологістю 38 %.

Користуючись формулою (1.5), визначаємо кількість сухого матеріалу, отриманого сушінням шлікеру

$$X = \frac{500 \cdot (100 - 38)}{100} = 310 \text{ кг.}$$

Приклад 2. Визначити кількість вологи, що видалиться під час сушки 500 г каоліну-сирцю з кар'єрною вологістю 16 %.

Використовуючи формулу (1.5), визначаємо кількість матеріалу після його сушки.

$$X = \frac{0,5 \cdot (100 - 16)}{100} = 0,42 \text{ кг.}$$

Кількість вологи, яка була видалена під час сушки, визначається як різниця маси вологого і сухого матеріалів

$$0,5 - 0,42 = 0,08 \text{ кг.}$$

Приклад 3. Визначити кількість нафтовідходу, який треба ввести для пластифікації 2000 кг керамічної маси, якщо рекомендована кількість добавки становить 2 % понад 100 % на суху речовину. Вологість суміші, що зберігається у шихтозапаснику, становить 16 %.

З використанням формули (1.5) визначаємо кількість керамічної маси на суху речовину

$$X = \frac{2000 \cdot (100 - 16)}{100} = 1680 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість добавки нафтовідходу (2 % понад 100 % на суху речовину), використовуючи пропорцію

$$\begin{array}{l} 1680 \text{ кг сухої керамічної маси} - 100 \% \\ X - 2 \% \end{array}$$

Звідси знаходимо необхідну кількість добавки нафтовідходу

$$X = \frac{1680 \cdot 2}{100} = 33,6 \text{ кг.}$$

1.1.3 Перерахунок кількості сухого матеріалу на вологу речовину

У багатьох випадках при технологічних розрахунках необхідно перераховувати кількість сухого матеріалу на вологий з урахуванням його заданої вологості. Перерахунок кількості (ваги) вологого матеріалу ведуть за формулою

$$X = \frac{g}{(100 - W)} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

де g – вихідна вага сухого матеріалу, г; W – вологість матеріалу, %.

Іноді перерахунок сухого матеріалу на вологий виконують, прийнявши вагу сухого матеріалу за 100 %. В цьому разі розрахунки проводять за формулою

$$X = \frac{g \cdot (100 + W)}{100}. \quad (1.7)$$

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Приклад 1. Визначити вихід пластичної маси з вологістю 24 % при використанні сухої шихти в кількості 350 кг.

За формулою (1.6) визначаємо кількість (вихід) пластичної маси

$$X = \frac{350}{(100 - 24)} \cdot 100 = 460,52 \text{ кг.}$$

Приклад 2. Визначити необхідну кількість води для отримання пластичної маси з вологістю 20 % з 200 кг сухої технологічної суміші.

Використовуючи формулу (1.6), визначаємо вагу пластичної маси після її зволоження до 20 %

$$X = \frac{200}{(100 - 20)} \cdot 100 = 250 \text{ кг.}$$

Далі визначаємо кількість води, потрібної для отримання пластичної маси із заданою вологістю

$$250 - 200 = 50 \text{ кг.}$$

1.1.4 Перерахунок кількості матеріалу з однієї вологості на іншу

При зміні вологості матеріалу, наприклад при розпуску глини, її сушінні, або зневодненні шлікеру на фільтр-пресах, необхідно здійснювати перерахунок кількості матеріалів за умови зміни їх вологості. В цьому випадку перерахунок ведуть за формулою

$$X = \frac{g \cdot (100 - W_{\text{вих}})}{100 - W_{\text{нов}}}, \quad (1.8)$$

де X – вага матеріалу з новою вологістю, кг; g – вага матеріалу з вихідною вологістю, кг; $W_{\text{вих}}$ – вихідна вологість матеріалу, %; $W_{\text{нов}}$ – задана вологість матеріалу, %.

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Приклад 1. Розрахунок кількості матеріалу при зміні його вологості.

Матеріал з вологістю 10 % важить 100 кг. Визначити вагу матеріалу після його зволоження до 20 %. Користуючись формулою (1.8), визначаємо

$$X = \frac{100 \cdot (100 - 10)}{(100 - 20)} = 112,5 \text{ кг.}$$

Приклад 2. Розрахунок кількості матеріалів для отримання заданої кількості маси із зазначеною вологістю з урахуванням вологості сировини.

Склад фарфорової маси на суху речовину, в мас. %: глина Веско-Прима – 15; каолін Просянівський – 35; кварцовий пісок – 25; пегматит Житомирський – 25. Сировинні матеріали мають таку кар’єрну вологість: глина – 18 %, каолін – 16 %, кварц – 0,5 %, пегматит – 1,0 %. Необхідно визначити кількість матеріалів та води для отримання 100 кг маси з вологістю 22 %.

Розрахунок проводимо з використанням формули (1.8):

$$\text{глина Веско-Прима} \quad \frac{15 \cdot (100 - 22)}{(100 - 18)} = 14,3 \text{ кг;}$$

$$\text{каолін Просянівський} \quad \frac{35 \cdot (100 - 22)}{(100 - 16)} = 32,4 \text{ кг;}$$

$$\text{пегматит Житомирський} \quad \frac{25 \cdot (100 - 22)}{(100 - 1)} = 19,7 \text{ кг;}$$

$$\text{кварцовий пісок} \quad \frac{25 \cdot (100 - 22)}{(100 - 0,5)} = 19,6 \text{ кг;}$$

$$\text{вода} \quad 100 - 14,3 - 32,4 - 19,7 - 19,6 = 14 \text{ кг.}$$

Враховуючи той факт, що протягом року вологість природних сировинних матеріалів змінюється залежно від сезону та погодних умов, можна спочатку визначити кількість сухих матеріалів, необхідну для отримання заданої кількості технологічної суміші із зазначеною вологістю (в нашому випадку 100 кг фарфорової маси з вологістю 22 %):

$$\text{глина Веско-Прима} \quad \frac{15 \cdot (100 - 22)}{100} = 11,7 \text{ кг;}$$

$$\text{каолін Просянівський} \quad \frac{35 \cdot (100 - 22)}{100} = 27,3 \text{ кг;}$$

$$\text{пегматит Житомирський} \quad \frac{25 \cdot (100 - 22)}{100} = 19,5 \text{ кг;}$$

$$\text{кварцовий пісок} \quad \frac{25 \cdot (100 - 22)}{100} = 19,5 \text{ кг.}$$

Для виготовлення 100 кг маси з вологістю 22 % знадобиться води

$$100 - 11,7 - 27,3 - 19,5 - 19,5 = 22 \text{ кг.}$$

Потім, враховуючи кар'єрну вологість сировини в кожний окремий період року, можна визначити кількість вологих матеріалів, необхідних для виготовлення 100 кг маси:

$$\text{глина Веско-Прима} \quad \frac{11,7 \cdot 100}{(100 - 18)} = 14,3 \text{ кг;}$$

$$\text{каолін Просвянівський} \quad \frac{27,3 \cdot 100}{(100 - 16)} = 32,4 \text{ кг;}$$

$$\text{пегматит Житомирський} \quad \frac{19,5 \cdot 100}{(100 - 1)} = 19,7 \text{ кг;}$$

$$\text{кварцовий пісок} \quad \frac{19,5 \cdot 100}{(100 - 0,5)} = 19,6 \text{ кг;}$$

$$\text{вода} \quad 100 - 14,3 - 32,4 - 19,7 - 19,6 = 14,0 \text{ кг.}$$

Приклад 3. Визначити кількість матеріалів і води для приготування 100 кг поливного шлікеру з вологістю 45 %. Склад шлікеру, мас. %: фрита – 95; глина пластична – 5. Вихідна вологість фрити – 1,5 %, кар'єрна вологість глини – 1,0 %.

Користуючись формулою (1.8), визначаємо кількість матеріалів для приготування 100 кг шлікеру:

$$\text{фрити} \quad \frac{95 \cdot (100 - 45)}{(100 - 1,5)} = 53,04 \text{ кг;}$$

$$\text{пластичної глини} \quad \frac{5 \cdot (100 - 45)}{(100 - 1,0)} = 2,78 \text{ кг;}$$

$$\text{води} \quad 100 - 53,04 - 2,78 = 44,18 \text{ кг.}$$

ЗАДАЧІ ДЛЯ ПРАКТИКИ

1. Склад маси на суху речовину (мас. %): пісок – 20, польовий шпат – 25, каолін – 30, глина – 25. Природна вологість сировини (%): піску – 8, польового шпату – 1,5, каоліну – 10, глини – 12. Обчисліть необхідну кількість сировини і води для отримання 1 т шлікеру з вологістю 45 %, якщо відомий склад маси на суху речовину та вихідна вологість кожного сировинного матеріалу.

2. Визначте кількість глини і піску, необхідних для отримання 1 т шлікеру поливи з вологістю 40 %, виходячи з такого рецепту завантаження твердих матеріалів у кульовий млин (ваг. ч.): фрита – 100, пісок – 15, глина – 5, сода – 0,5, бура – 0,6.

3. Глину з природною вологістю 18 % у кількості 280 кг необхідно розпустити у воді з доведенням вологості суспензії до 40 %. Визначте вагову кількість води, необхідну для розпуску глини.

4. Обчисліть об'єм води, необхідний для доведення вологості 3 т скляної шихти з 1 % до 7 %.

5. Визначте кількість вологи, що видалиться при сушінні та прожарюванні 500 г тальку ($3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$) з вологістю 20 %.

6. Обчисліть об'єм води, необхідний для доведення вологості 1,5 т скляної шихти з 1,5 % до 6 %.

7. Визначте кількість води та глини для виготовлення 425 кг шлікеру з вологістю 48 % при вихідній вологості глини 16 %.

8. Визначте кількість вологи, що видалиться при збезводненні 0,8 т керамічного шлікеру з вологістю 45 % до вологості пластичної маси 22 %.

9. Визначте кількість глини та води для виготовлення 20 кг шлікеру з вологістю 56 % при кар'єрній вологості глини 12 %.

10. Обчисліть масу прес-порошку з вологістю 9 % та суспензії з вологістю 52 % для отримання пластичної маси з вологістю 19 % в кількості 2 т.

11. Визначте масу прес-порошку з вологістю 7 % для отримання пластичної маси з вологістю 18 %, виходячи з наявності 4 т суспензії з вологістю 50 %. Визначте вихід маси.

12. Обчисліть необхідну кількість сировини і води для отримання 1 т шлікеру з вологістю 32 %, якщо відомий склад маси на суху речовину і природна вологість сировини. Склад сухої маси (%): пісок – 25 ($W = 1\%$), польовий шпат – 30 ($W = 0,5\%$), каолін – 30 ($W = 15\%$), глина – 15 ($W = 17\%$).

13. Визначте кількість глини і води для виготовлення 250 кг шлікеру з вологістю 50 % при вихідній вологості глини 14 %.

14. Обчисліть масу прес-порошку з вологістю 9 % та суспензії з вологістю 52 % для отримання пластичної маси з вологістю 19 % в кількості 2 т.

1.2 Розрахунки кількості матеріалів для отримання пластичної маси

1.2.1 Особливості формування виробів з технологічних сумішей, отриманих різними способами

У технології кераміки і вогнетривів залежно від властивостей керамічних мас, їх вологості, а також розмірів і конфігурації виробів, що формуються, застосовують три основні способи формування. До них належать: напівсухе пресування із порошкоподібних мас з вологістю 4–11 % із застосуванням високого питомого тиску пресування; пластичне формування з мас із вологістю 16–25 % з використанням відносно невеликих значень питомого тиску; лиття з шлікерів вологістю 30–50 % без додавання тиску або за низького тиску.

Так, метод напівсухого пресування широко використовується у виробництві вогнетривів і різних видів будівельної кераміки (плиток для підлоги, фасадних плиток, керамограніту, клінкерної цегли). Різновидом цього методу формування виробів в технології тонкої кераміки є гідростатичне пресування з порошків з вологістю 2–3 % у гумових формах, яке широко використовується при виробництві якісного фарфорового посуду.

У тонкокерамічних технологіях (фарфор, фаянс, тонкокам'яні вироби), а також у виробництві технічної кераміки переважно використовують шлікерне лиття. Але найбільш поширеним у виробництві більшості видів кераміки залишається найдавніший метод формування – пластичне формування. Цей метод має три основні різновиди, які відрізняються вимогами до форми та властивостей напівфабрикату, що, в свою чергу, потребує використання різних за вологістю пластичних мас та визначає спосіб їх приготування.

На відміну від виробництва керамічних будівельних матеріалів та промисловості вогнетривів у фарфоро-фаянсових технологіях можуть використовуватися одразу декілька способів формування. Прикладом цьому служать підприємства, які випускають електроізоляційні керамічні вироби, номенклатура яких є досить широкою і включає як низьковольтні фарфорові ізолятори, що їх оформлюють методом напівсухого пресування, так і високовольтні фарфорові вироби, які отримують методами лиття та пластичного формування. Поєднання різних способів формування на одному підприємстві стане можливим тому, що на таких підприємствах організований мокрий (шлікерний) спосіб підготовки керамічної маси, який на першому етапі передбачає отримання керамічного шлікеру, з якого в подальшому можуть бути отримані прес-порошок чи пластична маса.

При використанні на одному підприємстві усіх трьох основних

способів формування шлікер зневоднюють у баштових розпилювальних сушарках і отримують прес-порошок, який використовують для оформлення виробів методом напівсухого пресування. Для отримання пластичної маси прес-порошок і шлікер змішують у необхідних пропорціях, після чого маса підлягає обов'язковому вакуумуванню та вилежуванню.

Можливий також інший варіант приготування пластичної маси з порошку та шлікеру. Він використовується на підприємствах, які застосовують такі способи формування, як пластичне формування та напівсухе пресування. Пластичну масу отримують змішуванням порошку із суспензією, яку готують шляхом розпуску у воді відходів формування та сушки. За недостатньої кількості відходів суспензію отримують з порошку у спеціальних мішалках, а потім змішують її з прес-порошком [1].

До основних розрахунків, які застосовуються у лабораторно-технологічній практиці на таких підприємствах, відносяться розрахунки, пов'язані з визначенням кількості шлікеру і прес-порошку, необхідної для отримання пластичної маси із заданою вологістю. Тільки правильний розрахунок керамічної маси забезпечить відтворюваність її властивостей і стабільність прийнятих технологічних режимів, що є основною умовою отримання виробів високої якості.

1.2.2. Визначення кількості прес-порошку та шлікеру для отримання пластичної маси заданої вологості

При таких розрахунках за 100 % завжди приймається кількість пластичної маси, яка складатиметься з прес-порошку і шлікеру з відомими значеннями вологості. З урахуванням вологості прес-порошку і шлікеру розрахунок кількості цих компонентів у пластичній масі здійснюється за формулами (1.9) і (1.10):

$$Q_n = \frac{W_c - W_m}{W_c - W_n} \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

де Q_n – вміст прес-порошку в керамічній масі, мас. %; W_c – вологість суспензії (шлікеру), %; W_m – вологість керамічної маси, %; W_n – вологість прес-порошку, %.

$$Q_c = \frac{W_m - W_n}{W_c - W_n} \cdot 100 \%, \quad (1.10)$$

де Q_c – вміст суспензії (шлікеру) в керамічній масі, мас. %; $W_{п}$ – вологість прес-порошку, %; W_c – вологість суспензії, %; W_m – вологість керамічної маси, %.

Такі ж самі розрахунки можна здійснювати графічним способом за допомогою номограми Х.О. Мартінеса, побудованої за наведеними вище формулами (рис. 1.1, [1]).

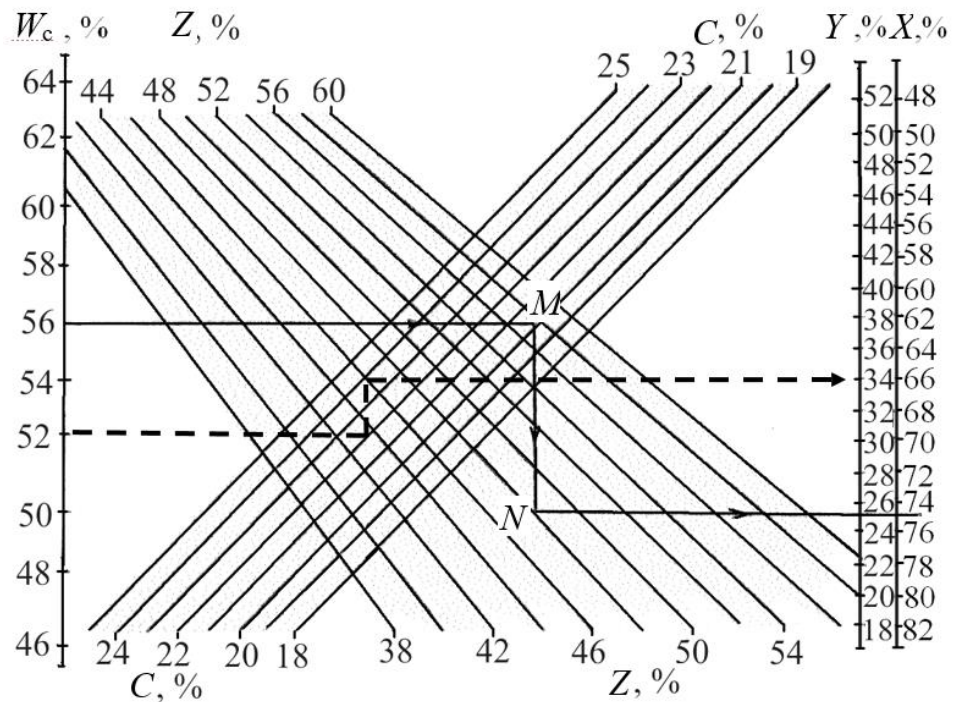


Рисунок 1.1. Номограма для визначення процентної кількості прес-порошку та шлікеру для отримання керамічної маси із заданою вологістю

Для користування номограмою спочатку необхідно визначити допоміжну величину $Z = W_c - W_{п}$. Потім за заданим значенням W_c необхідно провести горизонталь до її перетину з однією з ліній ($C, \%$), яка відповідає заданій вологості маси. З отриманої точки проводиться вертикальна лінія до її перетину з прямою, що відповідає розрахованому значенню величини Z . Горизонталь, проведена через останню точку перетину, відсікатиме на шкалах Y та X значення, що відповідають процентному вмісту в масі відповідно суспензії та порошку.

Розглянемо наведений на рис. 1.1 приклад графічного вирішення такої задачі. Припустимо, що необхідно отримати пластичну масу з вологістю 20 % із шлікеру з вологістю 56 % та прес-порошку з вологістю 8 %. За допомогою номограми необхідно визначити процентну кількість означених компонентів маси.

Спочатку розраховується значення допоміжної величини

$$Z = W_c - W_{п} = 56 - 8 = 48 \%$$

З точки, що відповідає вологості суспензії 56 % за шкалою, розташованою ліворуч, проводимо горизонталь до її перетину з лінією, що відповідає значенню C (тобто заданому значенню вологості маси 20 %). Отримуємо точку M . З цієї точки проводимо вертикаль до перетину з прямою лінією, яка відповідає розрахованому значенню допоміжної величини Z . Отримуємо точку N . З цієї точки проводимо горизонтальну лінію до перетину зі шкалами $У$ та X та отримуємо необхідні значення. Отже, для отримання пластичної маси з вологістю 20 % зі шлікеру з вологістю 56 % і порошку з вологістю 8 % необхідно мати 25 % суспензії і 75 % порошку.

Маючи можливість розраховувати процентний вміст прес-порошку та шлікеру в керамічній масі із заданою вологістю, завжди можна визначити вагову кількість цих компонентів для отримання необхідної кількості керамічної маси.

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Приклад 1. Яку кількість порошку з вологістю 10 % і суспензії з вологістю 50 % необхідно взяти для одержання керамічної маси з вологістю 18 %?

Скориставшись формулою (1.9), визначимо процентний вміст прес-порошку у складі керамічної маси

$$Q_n = \frac{W_c - W_m}{W_c - W_n} \cdot 100 \% = \frac{(50 - 18)}{50 - 10} \cdot 100 = 80 \%$$

Тоді процентний вміст суспензії становитиме

$$100 - 80 = 20 \%$$

Отже, для отримання керамічної маси з вологістю 18 % необхідно змішати 80 % прес-порошку з вологістю 10 % і 20 % шлікеру з вологістю 50 %.

Приклад 2. Розрахувати вагову кількість шлікеру з вологістю 48 % та порошку з вологістю 6 % для отримання пластичної маси з вологістю 22 % у кількості 500 кг.

Скориставшись формулою (1.10), визначимо відсотковий вміст шлікеру у складі керамічної маси

$$Q_c = \frac{W_m - W_n}{W_c - W_n} \cdot 100 \% = \frac{(22 - 6)}{48 - 6} \cdot 100 = 38 \%$$

Відсотковий вміст порошку становитиме $100 - 38 = 62 \%$, а його вагова кількість у 500 кг маси

$$500 \cdot 0,62 = 310 \text{ кг.}$$

Вагова кількість суспензії

$$500 - 310 = 190 \text{ кг.}$$

Отже, для отримання пластичної маси з вологістю 22 % необхідно змішати 310 кг порошку з вологістю 6 % і 190 кг шлікеру з вологістю 48 %.

Приклад 3. Визначте вагову кількість шлікеру з вологістю 50 % для отримання пластичної маси з вологістю 25 %, виходячи з наявності 100 кг порошку з вологістю 4 %. Яким буде вихід пластичної маси?

За формулою (1.10) визначимо процентний вміст шлікеру у складі керамічної маси з вологістю 25 %

$$Q_c = \frac{W_m - W_n}{W_c - W_n} \cdot 100 \% = \frac{(25 - 4)}{50 - 4} \cdot 100 = 45,65 \%$$

Тоді процентний вміст порошку становитиме

$$100 - 45,65 = 54,35 \%$$

Далі визначаємо вагову кількість порошку у складі пластичної маси, склавши таку пропорцію

100 кг порошку становить 54,35 %

X кг суспензії становить 45,65 %

Звідси вагова кількість суспензії становить $X = 84$ кг. Додавши до відомої кількості порошку кількість суспензії, отримаємо вихід пластичної маси, який становитиме

$$100 \text{ кг} + 84 \text{ кг} = 184 \text{ кг.}$$

Отже, вагова кількість шлікеру з вологістю 50 % для отримання пластичної маси з вологістю 25 % має становити 84 кг. З такої кількості шлікеру і 100 кг порошку з вологістю 4 % можна отримати 184 кг пластичної маси.

Приклад 4. Визначити за допомогою номограми кількість порошку та суспензії для одержання фарфорової маси з вологістю 22 %, якщо вологість порошку становить 6 %, а вологість суспензії – 52 %.

Скористаймося номограмою, наведеною на рис. 1. Спочатку обчислюємо значення допоміжної величини $Z = W_c - W_{\text{п}} = 52 - 6 = 46$ %.

З точки, що відповідає вологості суспензії 52 %, проводимо горизонталь до її перетину з лінією, що відповідає значенню $C = 22$ % (задане значення вологості маси). З отриманої точки проводимо вертикаль до перетину з прямою лінією, яка відповідає розрахованому значенню допоміжної величини $Z = 46$ %. З останньої точки проводимо горизонтальну лінію до перетину зі шкалами Y та X , які позначають відсоткову кількість суспензії і порошку відповідно. На рис. 1 графічні визначення вологості суспензії для даного прикладу вказані пунктирною лінією.

Отже, для отримання пластичної маси з вологістю 22 % зі шлікеру з вологістю 52 % і порошку з вологістю 6 % необхідно мати 34 % суспензії і 66 % порошку.

ЗАДАЧІ ДЛЯ ПРАКТИКИ

1. Визначте процентне співвідношення порошку з вологістю 4 % і суспензії з вологістю 49 % для одержання пластичної маси з вологістю 19 %.

2. Яку кількість порошку та суспензії необхідно взяти для одержання 200 кг маси з вологістю 17 % (вологість порошку 6 %, вологість суспензії 47 %)?

3. Необхідно одержати порцелянову масу з вологістю 20 % із суспензії з вологістю 55 % і порошку з вологістю 7 %. Який процентний вміст суспензії і порошку буде міститися у складі маси?

4. Для приготування керамічної маси будуть використані такі матеріали: прес-порошок з вологістю 5 % і шлікер з вологістю 45 %. Визначити кількість прес-порошку та шлікеру, необхідну для отримання маси з вологістю 20 %.

5. За допомогою номограми встановити співвідношення суспензії та порошку для одержання маси з вологістю 18 %, якщо відомо, що порошок має вологість 7 %, а суспензія – 52 %. Яка кількість цих компонентів є необхідною для виготовлення 100 штук напівфабрикатів, якщо одного напівфабрикату становить 20 кг)?

6. Визначте вагову кількість прес-порошку з вологістю 6 % для отримання пластичної маси з вологістю 22 %, виходячи з наявності 120 кг шлікеру з вологістю 50 %. Обчисліть вихід пластичної маси.

7. Для виготовлення 100 фарфорових тарілок пластичним способом

необхідно взяти керамічну масу з вологістю 22 % у кількості 50 кг. Визначте, яку кількість суспензії з вологістю 49 % і порошку з вологістю 7 % необхідно взяти для отримання означеної кількості керамічної маси.

8. На підприємстві, що виготовляє господарчі керамічні вироби, отримують прес-порошок з вологістю 7 % та шлікер з вологістю 44 %. Розрахувати необхідну вагову кількість шлікеру та прес-порошку для одержання 20 т керамічної маси з вологістю 19 %.

9. Скільки сухого порошку необхідно взяти для того, щоби отримати 10 т пластичної маси з вологістю 21 % із шлікеру з вологістю 48 %?

10. Скільки сухого порошку необхідно взяти для того, щоби отримати пластичну масу з вологістю 22 % із 25 т шлікеру з вологістю 45 %?

11. Визначте вихід керамічної маси з вологістю 20 %, яку отримують змішуванням сухого порошку з 8 т шлікеру з вологістю 55 %. Скільки одиниць виробів може бути сформовано з керамічної маси, якщо вага одного виробу становить 15 кг?

1.3 Розрахунки кількості матеріалів для виготовлення шлікерів

1.3.1. Загальні відомості про склад шлікерів

Шлікери поливи являють собою суспензії, дисперсну фазу яких складають часточки подрібненої фрити та помельних добавок, які не розчиняються у воді (глина, пісок, глушники, пігменти тощо). Дисперсійним середовищем є вода з розчиненими в ній електролітами. Такі шлікери одержують шляхом мокрого помелу в кульових млинах, які являють собою фарфоровий або сталевий циліндр ємкістю до 100 л, футерований зсередини плитками з твердих матеріалів (фарфор, кварциту, ураліту або корунд). Як помельні тіла використовують кулі або циліндри з того ж матеріалу, що й футерівка.

Тривалість помелу, швидкість обертання млина, співвідношення маси матеріалу, що подрібнюється, маси помельних тіл та води, а також ступінь заповнення млина визначають властивості одержаних шлікерів: тонкість помелу, густину, покривну здатність та адгезійні властивості по відношенню до металевої або керамічної основи. Ці властивості, поряд з граничною напругою зсуву та текучістю шлікеру, визначають товщину нанесеного шару покриття та його суцільність.

Однією з найважливіших характеристик шлікеру є його густина ($\gamma_{\text{шл}}$). Необхідні значення цієї характеристики залежать від способу нанесення шлікеру, форми та розмірів виробу, умов його експлуатації, а також від типу поливи (фритована, сира, напівфритована). Зазвичай значення $\gamma_{\text{шл}}$ знаходяться в межах $1,45 \div 1,85 \text{ г/см}^3$.

Основним компонентом шлікерів є фрита. Після помелу питома поверхня частинок фрити розміром від 1 до 150 мкм дорівнює $0,15 \div 0,3 \text{ м}^2/\text{г}$. За такою дисперсності подрібнена фрита не може самостійно створювати седиментаційно стійку суспензію. Тому до складу шлікерів вводять структуроутворюючі добавки, призначенням яких є різке збільшення поверхні поділу фаз у системі, і створення просторового каркасу (завдяки взаємодії між частками) в якому крупні частинки фрити знаходяться у завислому стані.

Якщо прийняти кількість фрити за 100 %, то типове співвідношення інших компонентів шлікеру може знаходитись у таких межах (понад 100 %): вода $40 \div 60$; глина як структуроутворювач – $4 \div 10$; електроліти – $0,2 \div 1,5$; пігменти та глушники – $2 \div 12$; подрібнені водонерозчинні тугоплавкі добавки (пісок, глинозем, циркон тощо) – $5 \div 40$. Зазвичай у відсотковому відношенні шлікер містить 60–65 % твердої фази і 30–35 % води. Об’ємна концентрація твердої фази коливається в межах 45–50 %.

1.3.2 Розрахунок кількості сировинних матеріалів, води та помельних тіл при виготовленні поливних шлікерів

На практиці для одержання шлікеру заданої густини $\gamma_{\text{шл}}$ необхідно розрахувати масу матеріалів, що завантажуються до млина, яка включає:

- $m_{\text{мат}}$ – маса сухого матеріалу, який подрібнюється;
- $m_{\text{к}}$ – маса помельних тіл;
- $m_{\text{ел}}$ – маса розчинних електролітів;
- $m_{\text{в}}$ – маса води.

Маса сухого матеріалу, який завантажується до млина, або сухого залишку шлікеру, складається з маси фрити $m_{\text{фр}}$ та маси помельних добавок $m_{\text{доб}}$:

$$m_{\text{мат}} = m_{\text{фр}} + m_{\text{доб}}$$

Значення $m_{\text{мат}}$ у шлікері заданої густини розраховують із застосуванням такої формули

$$m_{\text{мат.}} = \frac{\varphi \cdot v}{\frac{\kappa}{\gamma_{\text{к}}} + \frac{1 + \omega}{\gamma_{\text{шл}}}}, \quad (1.11)$$

де φ – коефіцієнт заповнення млина після подрібнення; v – об’єм млина, м^3 ; κ – відношення маси помельних тіл до маси сухого подрібнюваного матеріалу; $\gamma_{\text{к}}$ – густина матеріалу помельних тіл, $\text{кг}/\text{м}^3$; ω – відношення кількості води до маси сухого подрібнюваного матеріалу; $\gamma_{\text{шл}}$ – густина

шлікеру, кг/м³.

Масу помельних тіл, що завантажують до млина, розраховують як

$$m_k = k \cdot m_{\text{мат}}. \quad (1.12)$$

При виконанні цих розрахунків застосовують коефіцієнти, значення яких наведені в роботі [3]: φ – від 0,6 до 0,8; k – від 1,1 до 1,2; ω – розраховується за заданим співвідношенням кількості води та сухого матеріалу, що подрібнюється (в мас. ч.).

При проведенні розрахунків складу шлікерів в окремих випадках необхідні дані про густину фрити $\gamma_{\text{фр}}$ та подрібнюваного матеріалу (тобто сухого залишку) $\gamma_{\text{мат}}$ (в кг/м³). Для розрахунку $\gamma_{\text{мат}}$ необхідно заданий склад, виражений в мас. ч. матеріалу, привести до 100 мас. %.

Густина сухої частини шлікеру $\gamma_{\text{мат}}$ розраховується за адитивною формулою

$$\gamma_{\text{мат}} = \frac{\sum \gamma_i \cdot a}{100}, \quad (1.13)$$

де γ_i – густина i -го компонента шлікеру, що входить до сухого залишку, кг/см³; a_i – його вміст, %.

Густина фрити $\gamma_{\text{фр}}$, яка є необхідною для розрахунку $\gamma_{\text{мат}}$, визначається за її хімічним складом з урахуванням парціальних факторів кожного компонента фрити за формулою [2]

$$\frac{100}{\gamma_{\text{фр}}} = \frac{a_1}{x_1} + \frac{a_2}{x_2} + \dots + \frac{a_n}{x_n} \quad (1.14)$$

Виходячи з попередньої формули, отримаємо

$$\gamma_{\text{фр}} = \frac{100}{\sum \frac{a_i}{x_i}}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.15)$$

де a_1, a_2, \dots, a_n – вміст компонентів фрити, мас. %; x_1, x_2, \dots, x_n – парціальні фактори для кожного з компонентів фрити (див. табл. 1.1, [3]).

За значенням $\gamma_{\text{мат}}$ можна знайти вміст води в мл в 1 кг шлікеру поливи за табл. 1.2.

Таблиця 1.1– Значення парціальних факторів для розрахунку густини полив

Парціальний фактор	Значення фактору для оксидів										
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	CaO	MgO	BaO	PbO	P ₂ O ₅
$a \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	2,25	2,9	2,75	3,25	3,20	3,7	4,3	3,5	7,2	10,0	2,55

Таблиця 1.2 – Вміст води в 1 кг шлікеру поливи залежно від густини шлікеру та щільності сухого залишку

Густина сухого залишку $\gamma_{\text{мат}} \cdot 10^{-3}$, кг/м^3	Вміст води (мл) в шлікері при густині поливи $\gamma_{\text{шл}} 10^{-3}$, кг/м^3												
	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59	1,60	1,61	1,62	1,63	1,64	1,65	1,66	1,67
2,3	372	365	357	351	344	336	329	323	316	309	303	297	290
2,4	392	385	377	371	364	357	351	344	338	331	325	318	312
2,5	408	402	395	388	381	375	369	362	356	350	344	337	331
2,6	423	417	410	403	397	391	384	378	372	365	360	354	348
2,7	436	430	423	417	411	405	399	393	386	381	374	369	363
3,0	468	462	456	449	444	438	432	426	421	415	409	404	398
3,5	504	498	492	486	481	475	469	464	459	454	448	444	438
4,0	527	522	516	511	506	500	495	490	485	480	475	470	465
4,5	544	538	534	529	524	518	514	508	504	498	494	489	484
5,0	556	551	546	541	536	531	526	521	517	512	508	503	498
	Вміст води (мл) в шлікері при густині поливи $\gamma_{\text{шл}} 10^{-3}$, кг/м^3												
	1,68	1,69	1,70	1,71	1,72	1,73	1,74	1,75	1,76	1,77	1,78	1,79	1,80
2,3	284	278	271	265	259	253	247	242	236	230	225	219	214
2,4	306	300	294	288	282	276	271	265	260	255	249	243	238
2,5	325	319	313	308	302	297	291	286	280	275	269	264	259
2,6	342	337	331	325	320	314	309	304	299	293	287	282	277
2,7	358	352	346	340	335	330	324	319	314	309	304	299	294
3,0	393	388	383	377	372	367	362	357	353	348	343	338	333
3,5	433	428	424	419	414	409	405	400	396	391	387	382	378
4,0	460	456	452	447	442	438	434	429	425	420	416	412	408
4,5	480	475	471	466	462	457	453	449	445	441	436	432	429
5,0	494	489	486	481	477	473	468	464	460	456	452	448	444

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Приклад 1. Розрахувати кількість фрити та глини Часів-Ярської (Ч-1), яку необхідно завантажити у млин для одержання 1 т шлікеру густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,72 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вихідні дані: склад сухого матеріалу, що подрібнюється, мас. ч.: фрита – 100; глина – 5; густина фрити $\gamma_{\text{фр}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; густина глини Ч-1 $\gamma_{\text{гл}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Для визначення кількості вказаних компонентів, які складають сухий матеріал, що подрібнюється, $m_{\text{мат}}$ слід використати дані табл. 2 [2], які дозволяють знаходити вміст води в 1 кг шлікеру поливи залежно від його густини $\gamma_{\text{шл}}$ та щільності сухого матеріалу $\gamma_{\text{мат}}$.

Перерахувавши заданий вміст фрити та глини з мас. ч. у мас. %, одержуємо:

$$a_{\text{фр}} = 95,24 \text{ мас. \%},$$

$$a_{\text{гл}} = 4,76 \text{ мас. \%}.$$

Розрахунок $\gamma_{\text{мат}}$ здійснюється за формулою (1.13), яка в даному випадку (за наявності двох компонентів у складі шлікеру) набуває вигляду

$$\gamma_{\text{мат}} = \frac{\gamma_{\text{фр}} \cdot a_{\text{фр}} + \gamma_{\text{гл}} \cdot a_{\text{гл}}}{100} = \frac{2,6 \cdot 10^3 \cdot 95,24 + 2,7 \cdot 10^3 \cdot 4,76}{100} = 2,60 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^3,$$

де $a_{\text{фр}}$ та $a_{\text{гл}}$ – вміст фрити та глини в сухому матеріалі, мас. %; $\gamma_{\text{фр}}$, $\gamma_{\text{гл}}$ – густина фрити та глини відповідно, кг/м³.

З табл. 4.2 виходить, що вміст води в 1 кг шлікеру густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,72 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ при густині сухого матеріалу $\gamma_{\text{мат}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ складає 0,334 кг. Тоді $m_{\text{мат}} = 0,666 \text{ кг}$ в 1 кг шлікеру, або 666 кг у тонні. Таким чином, для одержання 1 т шлікеру поливи густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,72 \cdot 10^3 \text{ кг/т}$ необхідно завантажити до млина:

$$m_{\text{фр}} = 666 \cdot 0,952 = 634,3 \text{ кг фрити},$$

$$m_{\text{гл}} = 666 \cdot 0,476 = 31,7 \text{ кг глини}.$$

Приклад 2. Розрахувати кількість помельних тіл $m_{\text{к}}$, яку необхідно завантажити в кульовий млин з об'ємом барабана $v = 3,4 \text{ м}^3$ для одержання шлікеру з густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,64 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вихідні дані: густина уралітових помельних тіл $\gamma_{\text{к}} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; компоненти шлікеру, що завантажуються до млина, мас. ч.: фрита – 100, пісок кварцовий – 20, глина – 6; густина фрити $\gamma_{\text{фр}} = 2,62 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; густина піску кварцового $\gamma_{\text{п}} = 2,65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; густина глини Ч-1 $\gamma_{\text{гл}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Масу помельних тіл $m_{\text{к}}$ розраховуємо за формулою (1.12):

$$m_{\text{к}} = \kappa \cdot m_{\text{мат}}$$

де κ – відношення маси помельних тіл до маси сухого матеріалу $m_{\text{мат}}$, який завантажується до млина.

Для визначення $m_{\text{мат}}$ використовуємо формулу (1.9). Приймаючи згідно даних [3], що $\gamma = 0,7$; $\kappa = 1,2$, отримуємо

$$m_{\text{мат}} = \frac{0,7 \cdot 3,4}{\frac{1,2}{3,0} + \frac{1 + \omega}{1,64}}.$$

Для визначення ω необхідно розрахувати густину сухого матеріалу $\gamma_{\text{мат}}$. Після перерахування заданого вмісту компонентів, що завантажуються до млина з масових частин у мас. %, одержуємо

$$m_{\text{фр}} = 80 \% ; m_{\text{п}} = 16 \% ; m_{\text{гл}} = 4 \% .$$

Тоді за формулою (1.13) отримаємо

$$\gamma_{\text{мат}} = \frac{\gamma_{\text{фр}} \cdot a_{\text{фр}} + \gamma_{\text{гл}} \cdot a_{\text{гл}} + \gamma_{\text{п}} \cdot a_{\text{п}}}{100} = \frac{2,6 \cdot 10^3 \cdot 80,0 + 2,7 \cdot 10^3 \cdot 4,0 + 2,65 \cdot 10^3 \cdot 16,0}{100} = 2,61 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^3,$$

де $a_{\text{фр}}$, $a_{\text{п}}$, $a_{\text{гл}}$ – вміст фрити, мас. %, піску та глини відповідно; $\gamma_{\text{фр}}$, $\gamma_{\text{п}}$, $\gamma_{\text{гл}}$ – густина цих компонентів, г/м^3 .

У табл. 2 цьому значенню $\gamma_{\text{мат}}$ та заданому значенню $\gamma_{\text{шл}} = 1,64 \text{ кг/м}^3$ відповідає вміст води в 1 кг шлікеру 0,368 кг. Звідси вміст сухого матеріалу становитиме

$$1,0 - 0,368 = 0,632 \text{ кг}.$$

Далі знаходимо відношення кількості води та сухого матеріалу, що подрібнюється

$$\omega = \frac{0,368}{0,632} = 0,58.$$

І, нарешті, за формулами (1.11) і (1.12) визначаємо кількість матеріалів та помельних тіл, які треба завантажити до млина:

$$m_{\text{мат}} = \frac{0,7 \cdot 3,4}{\frac{1,2}{3 \cdot 10^3} + \frac{1,58}{1,64 \cdot 10^3}} = 1735 \text{ кг},$$

$$m_{\text{к}} = 1,2 \cdot 1735 = 2082 \text{ кг}.$$

Таким чином, кількість помельних тіл (уралітових куль), яку потрібно завантажити у млин з барабаном об'ємом $3,4 \text{ м}^3$ для одержання шлікеру поливи з густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,64 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, дорівнює 2082 кг.

Приклад 3. Розрахувати кількість фрити, пігменту, піску та глини, необхідну для одержання шлікеру з густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,68 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Вихідні дані: рецептура матеріалу, що завантажуються до млина, мас. ч.: фрита – 100; пісок – 25; пігмент – 10; глина – 7. Матеріал млинних тіл – твердий фарфор. Об'єм барабана кульового млина $v = 1,3 \text{ м}^3$. Густина матеріалів, кг/м^3 : фрити – $2,7 \cdot 10^3$; піску – $2,65 \cdot 10^3$; пігменту – $3,6 \cdot 10^3$; глини – $2,68 \cdot 10^3$; фарфорових куль – $2,4 \cdot 10^3$.

Спочатку розраховуємо сумарну кількість всіх компонентів, що

складають масу сухого матеріалу $m_{\text{мат}}$, який завантажується у млин, з використанням формули (4.7). Згідно з [3] приймаємо $\varphi = 0,8$; $\kappa = 1,4$. Для розрахунку ω необхідно знати кількість води та сухого матеріалу в шлікері із заданою густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,66 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Це потребує визначення густини сухого матеріалу $\gamma_{\text{мат}}$ з використанням формули (1.13) та перерахунку для неї заданого вмісту компонентів сухого матеріалу з масових часток у масові відсотки.

Після відповідних розрахунків одержуємо такий склад сухого матеріалу, мас. %: фрита – 70,4; пісок кварцовий – 17,6; пігмент – 7,1; глина – 4,9.

Тоді за формулою (1.13) визначаємо густина матеріалу, що подрібнюється (тобто сухого залишку)

$$\gamma_{\text{мат}} = \frac{\gamma_{\text{фр}} \cdot a_{\text{фр}} + \gamma_{\text{ел}} \cdot a_{\text{гл}} + \gamma_{\text{п.}} \cdot a_{\text{п.}} + \gamma_{\text{піг}} \cdot a_{\text{піг}}}{100} =$$

$$= \frac{2,7 \cdot 10^3 \cdot 70,4 + 2,68 \cdot 10^3 \cdot 4,9 + 2,65 \cdot 10^3 \cdot 17,6 + 3,6 \cdot 10^3 \cdot 7,1}{100} = 2,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Згідно з табл. 1.2 значенню $\gamma_{\text{мат}} = 2,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ та $\gamma_{\text{шл}} = 1,68 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ відповідає вміст води в 1 кг шлікеру 0,363 кг та вміст сухого матеріалу 0,637 кг.

Тоді відношення кількості води та сухого матеріалу, що подрібнюється, становитиме

$$\omega = \frac{0,363}{0,637} = 0,57.$$

Нарешті за формулою (11) визначаємо

$$m_{\text{мат.}} = \frac{0,8 \cdot 1,3}{\frac{1,4}{2,4 \cdot 10^3} + \frac{1 + 0,57}{1,68 \cdot 10^3}} = 707 \text{ кг.}$$

Таким чином, сумарна кількість фрити, піску кварцового, пігменту та глини, необхідна для одержання шлікеру поливи з густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,68 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ при помелі в кульовому млині об'ємом $1,3 \text{ м}^3$, складе 707 кг. Враховуючи рецептуру матеріалу для завантаження млина, визначаємо вміст кожного з компонентів, мас. %: фрита – 70,4; пісок кварцовий – 17,6; пігмент – 7,1; глина Часів-Ярська (Ч-1) – 4,9. Отже, звідси знаходимо кількість кожного з компонентів, яку треба завантажити до млина, кг: фрита – 497,7; пісок кварцовий – 124,5; пігмент – 50,2; глина Часів-Ярська (Ч-1) – 34,6.

ЗАДАЧІ ДЛЯ ПРАКТИКИ

1. Розрахувати кількість фрити, піску та глини, які треба завантажити у кульовий млин для одержання 1 т шлікеру густиною $1,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Вихідні дані: вміст компонентів у засипці, мас. ч.: фрита – 100; пісок – 15; глина – 6. Склад фрити, мас. %: SiO₂ – 50; Al₂O₃ – 4,5; B₂O₃ – 14,0; K₂O – 5,0; CaF₂ – 7,0; CaO – 10,0; CoO – 1,0; BaO – 5,0; TiO₂ – 4,5. Густина кварцового піску $\gamma_{\text{п.}} = 2,65 \cdot 10^3$ кг/м³, густина глини $\gamma_{\text{гл.}} = 2,68 \cdot 10^3$ кг/м³.

2. Визначити кількість кварцитових кульок $m_{\text{к}}$, які необхідно завантажити у кульовий млин з об'ємом барабана $v = 1,2$ м³ для одержання шлікеру з густиною $\gamma_{\text{шл.}} = 1,5 \cdot 10^3$ кг/м³. Вихідні дані: рецептура засипки у млин, мас. ч.: фрита – 100, глинозем технічний – 10, глина – 5. Густина матеріалів, кг/м³: кварциту – $2,55 \cdot 10^3$; фрити – $2,48 \cdot 10^3$; глинозему – $3,4 \cdot 10^3$; глини – $2,68 \cdot 10^3$.

3. Обчислити кількість фрити, діоксиду цирконію та глини для одержання шлікеру хімічно стійкої поливи з густиною $\gamma_{\text{шл.}} = 1,75 \cdot 10^3$ кг/м³. Вихідні дані: рецептура суміші, яку завантажують у кульовий млин з барабаном об'ємом 2,6 м³ (мас. ч.): фрита – 100; ZrO₂ – 15; глина – 7. Матеріал помельних тіл – стеатит. Густина матеріалів, кг/м³: фрити – $2,67 \cdot 10^3$; ZrO₂ – $5,5 \cdot 10^3$; глини – $2,68 \cdot 10^3$; стеатиту – $2,6 \cdot 10^3$.

4. Розрахувати об'єм барабана кульового млина v для помелу 1500 кг суміші заданого складу. Вихідні дані: склад суміші, мас. ч.: фрита – 100; нефелін-сієнітовий концентрат – 7; пісок кварцовий – 30. Склад фрити, мас. %: SiO₂ – 55; Al₂O₃ – 5; B₂O₃ – 20; Na₂O – 1; K₂O – 3; CaO – 10; CaF₂ – 6. Матеріал помельних тіл – ураліт; густина шлікеру $\gamma_{\text{шл.}} = 1,80 \cdot 10^3$ кг/м³; густина ураліту $\gamma_{\text{к}} = 3,0 \cdot 10^3$ кг/м³.

5. Визначити кількість фрити, пігменту та глини, необхідну для одержання шлікеру поливи густиною $\gamma_{\text{шл.}} = 1,62 \cdot 10^3$ кг/м³. Вихідні дані: склад суміші, мас. ч.: фрита – 100, пігмент – 10, глина – 5. Матеріал млинних тіл – ураліт. Густина матеріалів, кг/м³: фрити – $2,45 \cdot 10^3$; пігменту – $3,34 \cdot 10^3$; глини – $2,68 \cdot 10^3$; ураліту – $3,1 \cdot 10^3$. Об'єм барабана $v = 1,6$ м³.

6. Розрахувати кількість кульок $m_{\text{к}}$, яку необхідно завантажити у кульовий млин з об'ємом барабана $v = 1,8$ м³ для одержання шлікеру поливи з густиною $\gamma_{\text{шл.}} = 1,69 \cdot 10^3$ кг/м³. Вихідні дані: склад суміші, яку завантажують, мас. ч.: фрита – 100; діоксид цирконію – 8,5; глина – 5,0. Густина фрити, кг/м³: $\gamma_{\text{фр}} = 2,55 \cdot 10^3$; густина ZrO₂ $\gamma_{\text{ц}} = 5,5 \cdot 10^3$; густина глини $\gamma_{\text{гл.}} = 2,68 \cdot 10^3$.

7. Обчислити кількість фрити, глинозему, піску, циркону та глини, яку необхідно завантажити у млин для одержання 1 т шлікеру густиною $\gamma_{\text{шл.}} = 1,80 \cdot 10^3$ кг/м³. Вихідні дані: склад сухого матеріалу, що подрібнюється, мас. ч.: фрита – 100; глинозем – 5; пісок – 15; циркон – 10; глина – 7,5. Густина компонентів, кг/м³: фрити $\gamma_{\text{фр}} = 2,52 \cdot 10^3$; глинозему $\gamma_{\text{г}} = 3,2 \cdot 10^3$;

піску $\gamma_{\text{п}} = 2,65 \cdot 10^3$; циркону $\gamma_{\text{ц}} = 4,65 \cdot 10^3$; глини $\gamma_{\text{гл}} = 2,65 \cdot 10^3$.

8. Визначити кількість кульок $m_{\text{к}}$, яку необхідно завантажити до кульового млина з об'ємом барабана $v = 5,0 \text{ м}^3$ для одержання шлікеру поливи густиною $1,74 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Вихідні дані: матеріал помельних тіл – стеатит з густиною $\gamma_{\text{к}} = 2,52 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Склад суміші, що завантажується у млин, мас. ч.: фрита – 100; пісок – 20; глинозем – 20; глина – 7,5. Густина компонентів, що завантажують у млин, кг/м^3 : фрити $\gamma_{\text{фр}} = 2,48 \cdot 10^3$; піску $\gamma_{\text{п}} = 2,65 \cdot 10^3$; глинозему $\gamma_{\text{г}} = 3,2 \cdot 10^3$; глини $\gamma_{\text{гл}} = 2,65 \cdot 10^3$.

1.3.3 Розрахунок вмісту сухої речовини та вологості шлікеру за його густиною

В умовах виробництва, які передбачають використання керамічних шлікерів і полив, необхідним є постійний контроль їх основних технологічних параметрів, таких як вологість, густина тощо. В деяких випадках виникає також необхідність корегування властивостей шлікеру із застосуванням добавок, що вводяться понад 100 % сухої ваги дисперсної фази. При цьому для визначення кількості корегуючих добавок необхідно спочатку розрахувати вміст сухої твердої речовини (дисперсної фази) у складі шлікеру. Розрахунки проводять з урахуванням густини сухої частки шлікеру ($\gamma_{\text{сух.ч}}$) та його густини ($\gamma_{\text{шл}}$).

Густина сухої частки визначають, виходячи з шихтового складу технологічної суміші та густини її окремих компонентів, за формулою

$$\gamma_{\text{сух.ч}} = \frac{\sum \gamma_i \cdot a_i}{100}, \quad (1.16)$$

де γ_i – густина i -го компонента технологічної суміші, г/см^3 ; a_i – вміст i -го компонента у складі суміші, мас. %.

Якщо бракує відомостей про густина усіх компонентів технологічної суміші, для розрахунків вмісту сухої речовини та вологості шлікеру припускається, що густина твердої частини шлікеру є сталою величиною $\gamma_{\text{сух.ч}} = 2,65 \text{ г/см}^3$, оскільки густина сировинних матеріалів, які використовуються в тонкокерамічних технологіях, коливається незначно. Наприклад, густина глини – $2,68 \text{ г/см}^3$, кварцового піску – $2,65 \text{ г/см}^3$, польових шпатів – $2,64 \text{ г/см}^3$.

Густина шлікеру визначається за формулою

$$\gamma_{\text{шл}} = \frac{m}{100}, \quad (1.17)$$

де m – вага шлікеру в об'ємі мірної колби (визначається як різниця між вагою колби ємністю 100 см^3 зі шлікером та вагою пустої колби).

Для визначення вмісту сухої частини шлікеру $q_{\text{сух.ч}}$ (%) використовують формулу

$$q_{\text{сух.ч.}} = \frac{\gamma_{\text{сух.ч.}} (\gamma_{\text{шл}} - 1)}{\gamma_{\text{шл}} (\gamma_{\text{сух.ч.}} - 1)} \cdot 100, \quad (1.18)$$

де $\gamma_{\text{сух.ч}}$ – густина сухої частини шлікеру, яка розраховується за формулою (1.13), або приймається рівною 2,65 г/см³; $\gamma_{\text{шл}}$ – густина шлікеру, яка визначається пікнометричним методом, г/см³.

Для визначення відносної вологості шлікеру (%) служить така формула

$$W_{\text{відн}} = 100 - q_{\text{сух.ч.}}, \quad \% \quad (1.19)$$

Для спрощення розрахунків для шлікерів, що використовуються у виробництві, слід скласти таблицю, за якою за густиною шлікеру визначатимуться його вологість та вміст у ньому сухої речовини. При цьому для керамічних і поливних шлікерів мають бути складені окремі таблиці, оскільки такі шлікери відрізняються не лише за густиною дисперсної фази, а й за вологістю, що обумовлено технологічними особливостями їх використання. Наявність таких таблиць спрощує і робить більш зручним визначення. Воно полягає у вимірюванні густини шлікеру, за показниками якої визначають вологість шлікеру та кількість його сухої частини. Приклад подання результатів розрахунку в табличному вигляді наведений в табл. 1.3.

У свою чергу, за кількістю сухої частини шлікеру визначають кількість добавок, які вводяться до складу готового шлікеру, за формулою

$$X_{\text{доб}} = \frac{q_{\text{сух.ч.}} \cdot q_{\text{доб}}}{100}, \quad (1.20)$$

де $X_{\text{доб}}$ – кількість добавки, яку вводять до складу готового шлікеру, мас. ч.; $q_{\text{сух.ч}}$ – вміст сухої частини у складі шлікеру, мас. ч.; $q_{\text{доб}}$ – вміст добавки, яку треба ввести до готового шлікеру, %, понад 100 % на суху речовину, мас. ч.

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Приклад 1. Визначити вологість фаянсового шлікеру, якщо його густина становить $\gamma_{\text{шл}} = 1,72$ г/см³. Густина сухої твердої частини шлікеру прийняти $\gamma_{\text{сух.ч}} = 2,56$ г/см³.

Користуючись табл. 3, визначаємо, що вологість фаянсового шлікеру з густиною 1,72 г/см³ становить 32,77 %, а вміст у ньому сухої частини складає 67,23 %.

Таблиця 1.3 – Вологість шлікеру та вміст в ньому сухої частини залежно від його густини при густині сухої твердої речовини 2,65 г/см³

Густина шлікеру, г/см ³	Вміст сухої частини, %	Вологість шлікеру, %	Густина шлікеру, г/см ³	Вміст сухої частини, %	Вологість шлікеру, %	Густина шлікеру, г/см ³	Вміст сухої частини, %	Вологість шлікеру, %
1,20	26,77	73,23	1,42	47,50	52,50	1,64	62,55	37,45
1,21	27,88	72,22	1,43	48,29	51,71	1,65	63,13	36,87
1,22	28,96	71,04	1,44	49,08	50,92	1,66	63,72	36,28
1,23	30,00	70,00	1,45	49,84	50,16	1,67	64,31	35,69
1,24	31,09	68,91	1,46	50,60	49,40	1,68	64,88	35,12
1,25	32,12	67,88	1,47	51,35	48,65	1,69	65,45	34,55
1,26	33,14	66,86	1,48	52,09	47,91	1,70	66,01	33,99
1,27	34,15	65,85	1,49	52,82	47,18	1,71	66,68	33,32
1,28	35,13	64,87	1,50	53,54	46,46	1,72	67,23	32,77
1,29	36,11	63,89	1,51	54,24	45,76	1,73	67,77	32,23
1,30	37,06	62,94	1,52	54,94	45,06	1,74	68,30	31,70
1,31	38,01	61,99	1,53	55,63	44,37	1,75	68,83	31,17
1,32	38,93	61,07	1,54	56,32	43,68	1,76	69,35	30,65
1,33	39,84	60,16	1,55	56,98	43,02	1,77	69,83	30,17
1,34	40,75	59,25	1,56	57,65	42,35	1,78	70,38	29,62
1,35	41,64	58,36	1,57	58,31	41,69	1,79	70,88	29,12
1,36	42,51	57,49	1,58	58,96	41,04	1,80	71,38	28,62
1,37	43,38	56,62	1,59	59,60	40,40	1,81	71,87	28,13
1,38	44,21	55,79	1,60	60,08	39,92	1,82	72,36	27,64
1,39	45,06	54,94	1,61	60,70	39,30	1,83	72,84	27,16
1,40	45,89	54,11	1,62	61,32	38,63	1,84	73,32	26,68
1,41	46,71	53,29	1,63	61,90	38,10	1,85	73,79	26,21

Приклад 2. Визначити вологість поливного шлікеру з густиною $\gamma_{\text{шл}} = 1,70$ г/см³, якщо до його складу входить фрита – 95 мас. % і бентоніт – 5 мас. %. Хімічний склад фрити, мас. %: SiO₂ – 53,0; Al₂O₃ – 10,0; Na₂O – 4; K₂O – 3; CaO – 10; MgO – 4; B₂O₃ – 16. Густина бентоніту $\gamma_{\text{бент}} = 2,7$ г/см³.

За формулою (1.15) з використанням даних табл. 1.1 визначаємо густина фрити

$$\gamma_{\text{фр}} = \frac{100}{\frac{53,0}{2,25} + \frac{10,0}{2,75} + \frac{4,0}{3,25} + \frac{3,0}{3,20} + \frac{10,0}{4,3} + \frac{4,0}{3,5} + \frac{16,0}{2,9}} = 2,614 \text{ г/см}^3.$$

Потім за формулою (1.13) розраховуємо густина сухої частини шлікеру

$$\gamma_{\text{сух.ч.}} = \frac{95,0 \cdot 2,614 + 5,0 \cdot 2,7}{100} = 2,618 \text{ \%}.$$

Далі за формулою (1.18) розраховуємо вміст сухої частини шлікеру

$$q_{\text{сух.ч.}} = \frac{2,618 \cdot (1,7 - 1)}{1,7 \cdot (2,618 - 1)} \cdot 100 = 66,54 \%$$

Вологість поливного шлікеру визначаємо за формулою (1.19)

$$W_{\text{ш}} = 100 - 66,54 = 33,46 \%$$

Приклад 3. Визначити наважку триполіфосфату натрію, яку треба ввести до готового шлікеру поливи в кількості 2 % понад 100 % на суху речовину з метою збільшення його плинності. Склад шлікеру поливи наведений в попередньому прикладі. Густина фрити становить 2,614 г/см³.

Аналогічно попередньому прикладу розраховуємо густина сухої частини шлікеру поливи за формулою (1.13)

$$\gamma_{\text{сух.ч.}} = \frac{95,0 \cdot 2,614 + 5,0 \cdot 2,7}{100} = 2,618 \text{ г/см}^3$$

і визначаємо вміст сухої частини шлікеру за формулою (1.18)

$$q_{\text{сух.ч.}} = \frac{2,618 \cdot (1,7 - 1)}{1,7 \cdot (2,618 - 1)} \cdot 100 = 66,54 \%$$

Далі за формулою (1.20) визначаємо кількість триполіфосфату натрію, який треба ввести до 100 мас. ч. готового шлікеру

$$X_{\text{доб}} = \frac{66,54 \cdot 2,0}{100} = 1,33 \text{ мас. ч.}$$

ЗАДАЧІ ДЛЯ ПРАКТИКИ

1. Визначте вологість фарфорового шлікеру, якщо його густина становить 1,75 г/см³.

2. Обчисліть кількість сухої частини фаянсового шлікеру з густиною 1,70 г/см³ та розрахуйте кількість матеріалів і води для отримання 500 кг шлікеру.

3. Визначте кількість води, необхідної для дозволоження 100 кг шлікеру, який має густину 1,83 г/см³, до досягнення ним густини 1,72 г/см³.

4. Визначте наважку добавки КМЦ, яку треба ввести в кількості 1 % для покращення адгезії шару поливи до керамічної основи. Вихідні дані для розрахунків, зокрема склад фрити та поливи, а також густина шлікеру поливи наведені в табл. 1.4.

5. Обчисліть вологість шлікеру поливи, якщо відомі його склад та густина (див. табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для розрахунків за індивідуальним завданням

Номер варіанта задання	Склад фрити, мас. %						Склад поливи, мас. %		Густина шлікеру, г/см ³
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	ZrO ₂	фрити	глина	
1	55,00	5,00	15,00	4,00	15,5	5,50	95,0	5,0	1,78
2	57,00	5,50	15,50	5,00	12,00	5,00	96,0	4,0	1,66
3	53,00	10,00	16,00	4,50	10,50	6,00	97,0	3,0	1,64
4	51,00	10,50	16,50	5,50	10,00	6,50	98,0	2,0	1,81
5	58,00	5,00	17,00	3,00	10,00	7,00	95,0	5,0	1,59
6	50,00	5,50	17,50	3,50	17,00	6,50	96,0	4,0	1,55
7	49,00	7,00	18,00	4,00	15,00	7,00	97,0	3,0	1,78
8	47,00	7,50	18,50	5,00	14,50	7,50	98,0	2,0	1,71
9	55,50	3,5	15,00	4,50	13,50	8,00	95,0	5,0	1,68
10	57,00	3,0	15,50	5,50	14,50	5,00	96,0	4,0	1,75
11	53,50	8,00	16,00	3,00	13,50	6,00	97,0	3,0	1,69
12	51,00	8,50	16,50	3,50	14,00	6,50	98,0	2,0	1,72
13	48,50	10,00	17,00	4,00	13,50	7,00	100,0	-	1,65
14	52,50	6,50	17,50	4,50	12,5	6,50	99,0	1,0	1,78

Література до розділу 1

1. Хоменко О. С., Я.І. Кольцова. Хімічна технологія кераміки та вогнетривів: навч. посіб. Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2014. 192 с.
2. Гоц В.І., Гелевера О.Г., Нестеров В.Г., Телющенко І. Ф. Технологія керамічних будівельних матеріалів: підручник для студ. вищ. навч. закл. Київ: Основа, 2020. 744 с.
3. Корнілович Б. Ю., Андрієвська О. Р., Племянніков М. М., Спасьонова Л. М. Фізична хімія кремнезему і нанодисперсних силікатів: навч. посіб. Київ : Освіта України, 2013. 178 с.
4. Свідерський А. В., Черняк Л. П., Сальник В. Г. та ін. Ресурсозбереження і сировинні матеріали силікатних виробництв: навч. посіб. Київ.: НТУ «КП», 2015. 92 с.
5. Брагіна Л. Л., Корогодська А. М., О. Я. Пітак та ін. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах: навч. посіб.: у 2 ч. / за ред. Рищенко М.І. Харків: Підручник НТУ «ХП», 2012. Ч.1. 332 с.
6. Федоренко О.Ю., Пітак Я.М., Рищенко М.І. та ін. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах: навч. посіб.: у 2 ч. / за ред. Рищенко М.І. Харків: Підручник НТУ «ХП», 2015. Ч. 2. 336 с.

7. Суббота І.С., Спасьонова Л.М.. Теоретичні основи технології кераміки та скла. Процеси і методи керамічної технології: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 124 с.
8. Брагина Л. Л., Зубехин А. П., Белый Я. И. и др. Технология эмали и защитных покрытий: учеб. пособ. / под ред. Л.Л. Брагиной, А.П. Зубехина. Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. 484 с.
9. Кривоносова Н. Т., Чеберко А.И. Совершенствование производства санитарных керамических изделий: монограф. Запорожье: Дике поле, 2008. 345 с.
10. Крупа А. А., Городов В.С. Химическая технология керамических материалов : учеб. пособ. Киев: Вища школа, 1990. 399 с.
11. Мороз И. И. Фарфор, фаянс, майолика. Киев.: Техника, 1975. 351 с.

Розділ 2. ТЕХНІЧНА КЕРАМІКА НОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

2.1 Загальні відомості про фазовий склад керамічних матеріалів

Властивості твердих тіл в певній мірі залежать від їх фазового складу, тому важливою задачею матеріалознавства є визначення фазового складу полікристалічних матеріалів, а також його прогнозування з використанням розрахункових методик, а також відомостей про фізико-хімічні процеси, які супроводжують формування матеріалу.

Фазовий склад є кількісною або якісною характеристикою наявності в системі різних за агрегатним станом фаз. Фазою прийнято називати однорідну (гомогенну) складову частину системи, яка має однаковий склад, кристалічну будову, хімічні, фізичні та термодинамічні властивості та агрегатний стан. Сусідні фази відокремлені одна від одної поверхню поділу.

Термін «фазовий склад», зазвичай використовують для характеристики готових керамічних матеріалів. В цьому випадку фазовий склад частіше за все представлений поліфазною системою, що складається із газової фази (пор), твердої фази, представленої різними кристалічними речовинами і склофазою. Проте поняття фазового складу може бути застосовано і до технологічних сумішей.

Вивчення фазового складу здійснюється шляхом фазового аналізу матеріалу, метою якого є встановлення наявності фаз (якісний аналіз), а також визначення відносного вмісту фаз в матеріалі (кількісний аналіз). Існує велика кількість методів фазового аналізу – хімічні, термічні, дифракційні тощо. Найбільш поширеним на сьогодні є рентгенографічний метод фазового аналізу, який надає можливість досліджувати фазовий склад матеріалу в конкретних умовах (температура, тиск, газове середовище) та спостерігати фазові перетворення і поліморфні перетворення сполук в процесі формування матеріалу.

2.2 Розрахунок фазового складу тонкокерамічних виробів за їх шихтовим та хімічним складом

Для порівняння фізико-механічних властивостей різних видів технічного фарфору здійснюють розрахунок їх фазового складу, за яким отримують відомості щодо хімічного складу скловидної фази, що дозволяє прогнозувати її властивості за відомими адитивними розрахунковими методами.

Розрахунок фазового складу технічного фарфору є досить наближеним, оскільки при цьому приймається ряд припущень та не враховується вплив різних технологічних факторів на структуру матеріалу (наприклад на формування первинного або вторинного муліту, перетворення кварцу на кристобаліт та ін.).

Вихідними даними для розрахунку є шихтовий склад маси та хімічний склад сировинних матеріалів. Методика розрахунку фазового складу технічного фарфору полягає у наступному:

- розрахунковий хімічний склад фарфору визначають виходячи з складу шихти та хімічного складу сировини, перерахованого на безугарний, за формулою 2.1:

$$P_{i\text{прож}} = \frac{P_i}{100 - \text{в.н.п.}} \cdot 100\% ; \quad (2.1)$$

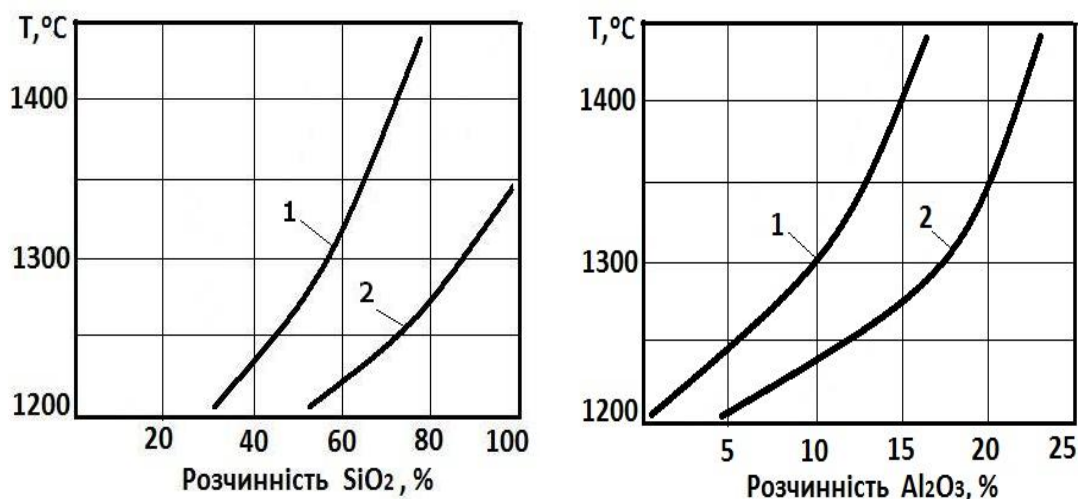
- теоретичний вміст муліту в перерахунку на $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ визначають за загальним вмістом оксиду алюмінію (з урахуванням частини Al_2O_3 , яка входить до польвошпатової склофази);
- кількість калієвої, натрієвої та кальцієвої складових склофази в перерахунку на мікроклін ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), альбіт ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) та анортит ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) встановлюють за вмістом оксидів калію, натрію та кальцію;
- припустиму кількість залишкового кварцу визначають за загальним вмістом оксиду силіцію (з урахуванням кількості SiO_2 , яка входить польвошпатової склофази та витрачена на утворення муліту);
- припускаючи, що в польвошпатовому розплаві в процесі випалу розчиняється 25 % кристалічних фаз, розраховують кількість муліту і вільного кварцу;
- визначають кількість склофази, що міститься в фарфоровому матеріалі, з урахуванням визначеної сумарної кількості кристалічних фаз.

Слід зазначити, що викладена розрахункова методика є досить приблизною, оскільки не враховує ступінь розчинності кристалічної фази у польвошпатовому розплаві під час термообробки фарфорових виробів, яка обумовлена, перш за все, температурою термообробки та активністю утвореного розплаву, який залежить від його складу.

Для більш точного розрахунку фазового складу фарфору Н.П. Лещенко і Р.І. Пресс запропонували удосконалену методику розрахунку фазового

складу фарфорових матеріалів, в якій передбачена додаткове оцінювання впливу температури випалу на розчинність вільного кварцу та глинозему в калієвому і натрієвому польовошпатових розплавах. При цьому в якості вихідних даних для розрахунку використовують залежності розчинності кварцу та глинозема в розплавах калієвого та натрієвого польових шпатів від температури термообробки.

Алгоритм розрахунку фазового складу за цією методикою подібний до розглянутого в першому прикладі, але має певні відмінності. Перш за все визначається кількість альбітової, мікроклинової та анортитової складової за вмістом оксидів натрію, калію і кальцію. Далі встановлюють кількість SiO_2 та Al_2O_3 , які містяться у складі польовошпатової склофази та за спеціальними діаграмами визначають кількість кварцу та глинозему, які розчиняються в розплаві певного складу (альбітовому або мікроклиновому) при відповідній температурі термообробки фарфору (рис. 2.1).



- 1 – калієвий польовий шпат (мікроклін);
- 2 – натрієвий польовий шпат (альбіт)

Рисунок 2.1. Розчинність кристалічних фаз в польовошпатових розплавах залежно від температури термообробки

Враховуючи низьку розчинність цих сполук у розплаві анортитового складу, нею можна знехтувати. Представлені на рис. 2.1 концентрації кварцу та глинозему в польовошпатових розчинах є рівноважними для відповідних температур випалу. Розчинність кварцу та глинозему виражена у відсотках по відношенню до кількості вихідного польового шпату. Як видно з рис. 2.1, розплав альбітового складу більш активно розчиняє кварц і глинозем, ніж

розплав мікроклінового складу. Розчинна здатність обох розплавів збільшується при підвищенні температури.

З урахуванням кількості оксиду алюмінію, що міститься у складі скло фази та кількості глинозему, який розчинився в розплаві при заданій температурі, знаходять кількість Al_2O_3 , яка витрачається на утворення муліту та розраховується теоретична кількість цієї кристалічної фази. Далі з урахуванням кількості оксиду силіцію, що входить до склофази, кількості кварцу, що розчинився в розплаві при термообробці та кількості SiO_2 , зв'язаного в муліті, розраховують кількість залишкового кварцу. Кількість склофази в цьому випадку визначають виходячи з загальної кількості польовошпатових складових, кварцу та глинозему, розчинених в них, а також домішок (оксидів заліза, титану, магнію), які, як припускається, також входять до склофази.

Приклад 1.

За шихтовим складом електротехнічного фарфору та хімічним складом сировинних матеріалів визначити фазовий склад готових фарфорових виробів. До складу шихти входять, мас. %: глина часів-Ярська – 23,0; каолін просянівський – 26,0; пегматит лозуватський – 30 мас. %; пісок кварцовий новоселівський – 21,0. Хімічний склад сировини на суху та прожарену речовину наведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сировинних матеріалів для виготовлення фарфорових виробів

Сировинний матеріал		Вміст компонентів, мас. %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	в.п.п.
Глина часів-Ярська	на суху речовину	51,31	35,17	1,35	0,78	0,45	2,03	0,74	8,17
	на прожарену речовину	55,88	38,30	1,47	0,85	0,49	2,21	0,80	-
Каолін просянівський	на суху речовину	45,79	38,59	0,82	1,00	0,13	0,32	0,14	13,21
	на прожарену речовину	52,77	44,46	0,94	1,15	0,15	0,37	0,16	-
Пегматит лозуватський	на суху речовину	75,19	13,90	0,49	0,74	0,24	5,72	3,34	0,38
	на прожарену речовину	75,49	13,95	0,49	0,74	0,24	5,74	3,35	-
Кварцовий пісок новоселівський	на суху речовину	98,08	1,03	0,17	0,26	0,06	0,10	0,06	0,24
	на прожарену речовину	98,32	1,03	0,17	0,26	0,06	0,10	0,06	-

Розрахунок починаємо з визначення хімічного складу фарфору, мас. %:

$$P(\text{SiO}_2) = 0,23 \cdot 55,88 + 0,26 \cdot 52,77 + 0,30 \cdot 75,49 + 0,21 \cdot 98,32 = 69,89$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,23 \cdot 38,30 + 0,26 \cdot 44,46 + 0,30 \cdot 13,95 + 0,21 \cdot 1,03 = 24,79$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,23 \cdot 1,47 + 0,26 \cdot 0,94 + 0,30 \cdot 0,49 + 0,21 \cdot 0,17 = 0,77$$

$$P(\text{CaO}) = 0,23 \cdot 0,85 + 0,26 \cdot 1,15 + 0,30 \cdot 0,74 + 0,21 \cdot 0,26 = 0,78$$

$$P(\text{MgO}) = 0,23 \cdot 0,49 + 0,26 \cdot 0,15 + 0,30 \cdot 0,24 + 0,21 \cdot 0,06 = 0,25$$

$$P(\text{K}_2\text{O}) = 0,23 \cdot 2,21 + 0,26 \cdot 0,37 + 0,30 \cdot 5,74 + 0,21 \cdot 0,1 = 2,27$$

$$P(\text{Na}_2\text{O}) = 0,23 \cdot 0,80 + 0,26 \cdot 0,16 + 0,30 \cdot 3,35 + 0,21 \cdot 0,06 = 1,25$$

Припускаємо, що оксид алюмінію, який вводиться до складу фарфорової маси з глинистими компонентами:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,23 \cdot 38,30 + 0,26 \cdot 44,46 = 20,36 \text{ мас.} \% ,$$

повністю витрачається на утворення муліту. Визначаємо теоретичну кількість муліту, яка може утворитися при наявності такої кількості Al_2O_3 , розмірковуючи таким чином

$$306 \text{ г/моль } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ міститься в } 426 \text{ г/моль муліту } (3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)$$

$$20,36 \% \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ буде витрачено на утворення } X \% \text{ муліту}$$

звідси $X = 28,34 \%.$

Знаходимо кількість оксиду силіцію, який буде витрачений на утворення такої кількості муліту

$$\text{в } 426 \text{ г/моль муліту } (3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \text{ міститься } 120,18 \text{ SiO}_2 \text{ г/моль}$$

$$\text{на утворення } 28,34 \% \text{ муліту необхідно } X \% \text{ SiO}_2$$

звідси $X = 7,99 \% \text{ SiO}_2.$

Припускаючи, що при випалі фарфору оксиди калію, натрію і кальцію повністю витрачаються на утворення польвошпатового скла, знаходимо кількість польвошпатових складових (альбітової, мікроклінової, анортитової). Для цього складаємо пропорції

$$94,2 \text{ г/моль } \text{K}_2\text{O} \text{ міститься в } 556 \text{ г/моль мікроклінової склофази}$$

$$2,27 \text{ г/моль } \text{K}_2\text{O} \text{ зв'язано в } X \text{ г/моль мікроклінової склофази.}$$

Звідси $P(K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2) = 13,4$ г/моль;

62,0 Na₂O г/моль міститься в 524 г/моль альбітової склофази
1,25 Na₂O г/моль зв'язано в X г/моль альбітової склофази,

звідки знаходимо $P(Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2) = 10,56$ г/моль;

З пропорції

56,08 г/моль CaO міститься в 278 г/моль анортитової склофази
0,78 г/моль CaO зв'язано в X г/моль анортитової склофази

знаходимо $P(CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) = 3,86$ г/моль.

Далі необхідно визначити кількість оксидів алюмінію та силіцію, які входять до складу визначеної кількості мікроклінової, альбітової і анортитової складових склофази. Для цього розмірковуємо таким чином

в 556 г/моль мікроклінової склофази міститься 102 г/моль Al₂O₃
в 13,4 г/моль мікроклінової склофази зв'язано X г/моль Al₂O₃,

звідки $X = 2,46$ г/моль Al₂O₃;

в 524 г/моль альбітової склофази міститься 102 г/моль Al₂O₃
в 10,56 г/моль альбітової склофази зв'язано X г/моль Al₂O₃

звідки $X = 2,05$ г/моль Al₂O₃;

в 278 г/моль анортитової склофази міститься 102 г/моль Al₂O₃
в 3,86 г/моль анортитової склофази зв'язано X г/моль Al₂O₃

звідки $X = 1,41$ г/моль Al₂O₃.

Аналогічним чином розраховуємо кількість оксиду силіцію, що входить до складу склофази

в 556 г/моль мікроклінової склофази міститься 360,54 г/моль SiO₂
в 13,4 г/моль мікроклінової склофази зв'язано X г/моль SiO₂

звідки $X = 8,69$ г/моль SiO₂;

в 524 г/моль альбітової склофази міститься 360,54 г/моль SiO_2
в 10,56 г/моль альбітової склофази зв'язано X г/моль SiO_2
звідки $X = 7,26$ г/моль SiO_2 ;
в 278 г/моль анортитової склофази міститься 120,18 г/моль SiO_2
в 3,86 г/моль анортитової склофази зв'язано X г/моль SiO_2
звідки $X = 1,67$ г/моль SiO_2 .

Розрахунок також можна проводити в табличній формі (табл. 2.2)

Таблиця 2.2 – Розрахунок фазового складу технічного фарфору

Складова склофази	Вміст польовошпатових складових, %	Вміст оксидів у польових шпатах, мас. %		Вміст оксидів у склофазі, мас. %	
		Al_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	SiO_2
мікроклінова ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)	13,40	18,34	64,84	2,46	8,69
альбітова ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)	10,56	19,46	68,81	2,05	7,26
анортитова ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)	3,86	36,69	43,23	1,41	1,67
Разом:				5,92	17,62

Далі, переходячи до масових відсотків, знаходимо сумарний вміст оксидів алюмінію і сумарний вміст силіцію, які знаходяться у склофазі

$$P_{\text{скл}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2,46 + 2,05 + 1,41 = 5,92 \%$$

$$P_{\text{скл}}(\text{SiO}_2) = 8,69 + 7,26 + 1,67 = 17,62 \%$$

Далі визначаємо сумарну кількість оксиду силіцію, яка витрачена на утворення муліту та польовошпатової склофази

$$P_{\text{з'яз}}(\text{SiO}_2) = 7,99 + 17,62 = 25,61 \%$$

та теоретичну кількість вільного кварцу

$$P_{\text{вільн}}(\text{SiO}_2) = 69,89 - 25,61 = 44,28 \%$$

Однак, завдяки дослідженням процесів, що відбуваються під час випалу фарфору, відомо, що у польовошпатовому розплаві розчиняється $\approx 25\%$ вільного кварцу та приблизно така ж кількість муліту. Виходячи з цього приблизна кількість залишкового кварцу у фазовому складі фарфору становитиме

$$P_{\text{залиш}}(\text{SiO}_2) = 44,28 \cdot (100 - 25) = 33,21 \%$$

Враховуючи розчинність мулітової фази, визначаємо її приблизну кількість у фазовому складі фарфору

$$P(3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) = 28,34 \cdot (100 - 25) = 21,25 \%$$

Далі, враховуючи кількість кристалічних фаз (муліту та залишкового кварцу), можна розрахувати кількість склофази, що міститься у фазовому складі фарфору

$$P_{\text{(склофази)}} = 100 - 21,25 - 33,21 = 45,54 \%$$

Таким чином, в результаті проведених розрахунків отримуємо наступний фазовий склад фарфору, % : муліт – 21,25; кварц – 33,21; склофаза – 45,54.

Приклад 2.

Продемонструємо другу методику розрахунку, яка є більш точною, оскільки враховує розчинну здатність кварцу та глинозему в польовошпатовому розплаві. Хімічний склад електротехнічного фарфору, випаленого за температури $1350\text{ }^\circ\text{C}$, є наступним (в мас. %): $\text{SiO}_2 - 72,02$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 21,83$; $\text{TiO}_2 - 0,42$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,55$; $\text{CaO} - 0,79$; $\text{MgO} - 0,38$; $\text{K}_2\text{O} - 2,81$; $\text{Na}_2\text{O} - 1,20$.

Користуючись таблицями Д1-Д3 Додатку, визначаємо кількість мікрокліну, альбіту та анортиту, а також кількість оксидів силіцію та алюмінію, що входять до їх складу (табл. 2.3 – 2.5).

Таблиця 2.3 – Розрахунок кількості мікрокліну

Вміст K_2O в масі, мас. %	Кількість мікрокліну, мас %	Вміст Al_2O_3 , зв'язаного в мікрокліні, мас. %	Вміст SiO_2 , зв'язаного в мікрокліні, мас. %
2,00	11,85	2,17	7,68
0,80	4,74	0,87	3,07
0,01	0,06	0,01	0,04
Всього 2,81	16,65	3,05	10,79

Таблиця 2.4 – Розрахунок кількості альбіту

Вміст Na ₂ O в масі, мас. %	Кількість альбіту, мас %	Вміст Al ₂ O ₃ , зв'язаного в альбіті, мас. %	Вміст SiO ₂ , зв'язаного в альбіті, мас. %
1,00	8,48	1,65	5,83
0,20	1,7	0,33	1,17
Всього 2,27	10,18	1,98	7,00

Таблиця 2.5 – Розрахунок кількості анортиту

Вміст CaO в масі, мас. %	Кількість анортиту, мас %	Вміст Al ₂ O ₃ , зв'язаного в анортиті, мас. %	Вміст SiO ₂ , зв'язаного в анортиті, мас. %
0,70	3,48	1,28	1,50
0,09	0,45	0,16	0,19
Всього 0,79	3,93	1,44	1,69

Далі знаходимо кількість розчинених Al₂O₃ та SiO₂ у альбітовому та мікрокліновому розплавах за температури термообробки 1350 °С за залежностями, наведеними на рис. 2.1, враховуючи що розчинність кварцу та глинозему виражається у відсотках по відношенню до кількості вихідного польового шпату. Як видно з рисунку, в мікрокліновому розплаві розчиняється:

- оксиду алюмінію $P(Al_2O_3) = \frac{12,5 \cdot 16,65}{100} = 2,08 \%$;
- оксиду силіцію $P(SiO_2) = \frac{64 \cdot 16,65}{100} = 10,65 \%$.

Відповідно в альбітовому розплаві за тих самих умов розчиняється:

- оксиду алюмінію $P(Al_2O_3) = \frac{19 \cdot 10,18}{100} = 1,93 \%$;
- оксиду силіцію $P(SiO_2) = \frac{98,3 \cdot 10,18}{100} = 10,00 \%$.

Далі за різницею між загальним вмістом Al₂O₃ (21,83 мас. %), кількістю оксиду алюмінію, який входить до складу польових шпатів, а також глинозему, розчиненого в польовошпатових розплавах, визначаємо кількість Al₂O₃, яка входить до складу муліту, мас. %

$$P(Al_2O_3)_{(mulim)} = 21,83 - (3,05 + 1,98 + 1,44 + 2,08 + 1,93) = 11,35.$$

Користуючись таблицею Д4 Додатку, визначаємо вміст у фарфорі муліту за кількістю Al_2O_3 та кількість SiO_2 , зв'язаного у ньому (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Розрахунок кількості муліту у фазовому складі фарфора

Кількість Al_2O_3 , що входить до складу муліту, мас. %	Кількість муліту у фазовому складі фарфора, мас. %	Кількість SiO_2 , зв'язаного в муліті, мас. %
10,0	13,93	3,93
1,0	1,39	0,39
0,30	0,42	0,12
0,05	0,07	0,02
Всього 11,35	15,81	4,46

Далі за різницею між загальним вмістом SiO_2 (72,02 мас. %), кількістю оксиду силіцію, пов'язаного в польових шпатах та муліті, а також кварцу, розчиненого в польовошпатових розплавах, визначаємо залишкову кількість SiO_2 , яка відповідає вмісту вільного кварцу, мас. %

$$P(SiO_2)_{(вільний)} = 72,02 - (10,79 + 7,0 + 1,69 + 4,46 + 10,65 + 10,0) = 27,43.$$

Складаючи кількість польових шпатів із кількістю розчинених в них Al_2O_3 та SiO_2 , та додавши домішки оксидів кальцію, магнію, заліза і титана, які найбільш імовірно також знаходяться в розплаві, знаходимо загальну кількість склофази, мас. %:

$$P_{(склофази)} = 16,65 + 10,18 + 3,93 + 2,08 + 1,93 + 10,65 + 10,0 + 0,55 + 0,42 + 0,38 = 56,77.$$

Таким чином, розрахунковий фазовий склад фарфора є наступним, %: муліт – 15,81; кварц – 27,43; склофаза – 56,77.

Слід, однак, відзначити, що наведений розрахунок фазового складу технічного фарфору також є наближеним, оскільки він не враховує вплив різних технологічних факторів на процеси перекристалізації та поліморфних перетворень, що супроводжуються утворенням вторинного голчастого муліту та кристобаліту, присутність яких визначає особливості структури фарфору та у великій мірі впливає на його фізико-хімічні властивості.

2.3 Прогнозування фазового складу технічної кераміки на основі алюмосилікатів

2.3.1 Фазовий склад мулітових та муліто-корундових виробів

Мулітова і муліто-корундова кераміка знайшла широке застосування як електроізоляційний матеріал. Сировиною для її отримання служать природні матеріали силіманітової групи – силіманіт, андалузит, кіаніт (він же дістен). Також можуть використовуватись природні гідрати алюмінію і чисті природні глини з добавкою технічного глинозему.

Мулітова кераміка містить до 70 мас.% Al_2O_3 . За даними хімічного аналізу її фазовий склад представлений однією кристалічною фазою – мулітом. Муліто-корундова кераміка містить більше 72 мас. % Al_2O_3 . У складі такої кераміки, окрім муліту, присутній корунд і твердий розчин корунду в муліті. В сумішах, до складу яких входять технічні продукти або природна сировина, що містить домішки, в процесі спікання матеріалу утворюється кристобаліт. Він вступає у взаємодію з домішками, утворюючи розплав, який при охолодженні переходить в кремнеземне скло.

Фазовий склад мулітової і муліто-корундової кераміки можна прогнозувати з використанням даних про будову системи $SiO_2-Al_2O_3$ (рис. 2.2).

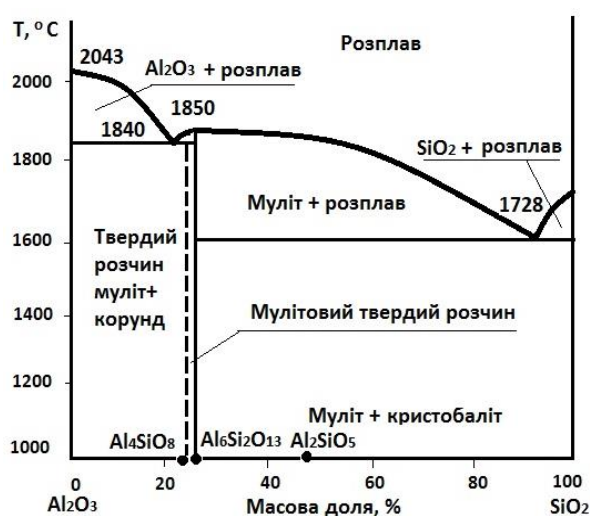


Рисунок 2.2. Діаграма стану системи $Al_2O_3 - SiO_2$

В даній системі утворюється тільки одна хімічна сполука– муліт із структурною формулою $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, який має велике практичне значення оскільки характеризується високою вогнетривкістю, механічною міцністю і хімічною стійкістю по відношенню до кислот і лугів. Муліт плавиться за температури 1850 °С зі збільшенням об'єму приблизно на 10 % і не має фазових переходів. В системі утворюються дві евтектики:

- з температурою плавлення 1595 °С між мулітом і SiO₂ (92.5 % SiO₂);
- з температурою плавлення 1840 °С між мулітом і Al₂O₃ (22 % SiO₂).

В області складів з вмістом Al₂O₃ в межах 71,8 – 78,0 % муліт утворює з корундом тверді розчини. Діаграма системи SiO₂–Al₂O₃ показує, що в сумішах, що містять менше 72% Al₂O₃, основною кристалічною фазою є муліт. При підвищенні вмісту Al₂O₃ понад 72% в матеріалі одночасно можуть існувати дві кристалічні фази – муліт і корунд, а також їх твердий розчин.

Для кількісного визначення фазового складу мулітової і муліто-корундової кераміки застосовують методи мікроскопічного дослідження, хімічного і рентгеноструктурного аналізів. Вміст склоподібної фази визначають мікроскопічним методом. Найточнішим і досить простим у реалізації методом кількісного фазового аналізу високоглиноземних матеріалів, які, в загальному випадку, складаються з мулітової фази, корунду і склофази, є раціональний хімічний аналіз, відомий в кількох варіантах, які відмінні за умовами обробки проби фтороводновою кислотою для розчинення склофази і виділення нерозчинного залишку. За хімічним складом нерозчинного залишку розраховують кількість муліту (3Al₂O₃·2SiO₂), а за надлишком незв'язаного Al₂O₃ визначають вміст корунду. Проте, отримані таким шляхом результати є недостатньо точними, оскільки склад муліту змінюється від 3Al₂O₃·2SiO₂ до 2Al₂O₃·SiO₂ залежно від умов його формування.

Приклад 1. Розрахувати хімічний склад маси муліто-корундового типу за її шихтовим складом та спрогнозувати фазовий склад продуктів її випалу. Результати розрахунку хімічного складу маси представлені в табличному вигляді (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Шихтовий та хімічний склад маси для виготовлення мулітової кераміки

Сировинний матеріал	Шихтовий склад, мас. %	Вміст компонентів, %								Сума
		в.п.п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	BaO	MgO	K ₂ O	
Каолин	30,0	3,80	14,0	11,6	0,19	0,24	-	-	0,18	26,2
Глина	24,0	3,20	11,5	8,7	0,23	0,14	-	0,12	0,06	20,8
Глинозем	40,0	0,07	0,16	39,7	0,02	-	-	-	-	39,9
Тальк	3,0	0,25	1,66	0,03	0,12	-	-	0,94	-	2,75
Вітерит	3,0	22,3	-	-	-	-	77,7	-	-	100
Хімічний склад, %		8,62	27,3	60,0	0,56	2,08	-	1,06	0,24	91,3
Хімічний склад на прожарену речовину, %		-	30,0	65,9	0,58	2,12	-	1,10	0,30	100

Розрахунок фазового складу проводять таким чином. Як початкові дані для розрахунку використовують вміст Al_2O_3 в матеріалі. Припускається, що склад муліту відповідає формулі $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Молекулярна маса сполуки становить 425,7 у.о.; для утворення 1 моля муліту необхідно 305,7 у.о. Al_2O_3 і 120 у.о. SiO_2 .

Визначаємо кількість SiO_2 , яка необхідна для зв'язування Al_2O_3 , який міститься в матеріалі, в муліт з урахуванням вмісту оксидів алюмінію і силіцію в 1 молі муліту

$$\begin{aligned} 305,7 \text{ мас.ч. } Al_2O_3 - 120 \text{ мас.ч. } SiO_2 \\ 65,90 \text{ мас.ч. } Al_2O_3 - X \text{ мас.ч. } SiO_2. \end{aligned}$$

Звідси $X = 26$ мас. ч. SiO_2 – необхідно для утворення муліту при взаємодії з такою кількістю Al_2O_3 , що міститься в масі.

Надлишкова кількість SiO_2 в матеріалі визначається як різниця загального вмісту SiO_2 та цієї кількості оксиду, який витрачений на утворення муліту

$$30,0 - 26,0 = 4,0\%$$

Визначаємо кількість SiO_2 , яка необхідна для утворення 100 % муліту

$$\begin{aligned} 435,7 \text{ мас.ч. муліту} - 100 \% \\ 120 \text{ мас.ч. } SiO_2 - X \end{aligned}$$

звідки $X = 28,18$ %.

Далі з урахуванням визначеної вище кількості оксиду силіцію ($SiO_2 = 26$ мас. %), яка утворює муліт з певною кількістю оксиду алюмінію, що міститься в масі ($Al_2O_3 = 65,9$ мас. %), розраховуємо кількість муліту, яка має утворитись в продуктах випалу маси

$$\begin{aligned} 28,18 \text{ мас. \% } SiO_2 - 100 \text{ мас.\% муліту;} \\ 26 \text{ мас.ч } SiO_2 - X \text{ мас. ч. муліту,} \end{aligned}$$

звідки $X = 92,26$ %

Таким чином, прогнозними розрахунками показано, що у фазовому складі муліто-корундової кераміки, отриманої при термообробці маси заданого складу, має утворитись 93 % муліту. Кількість залишкового кварцу становить 4 %. Кількість склофази, яка утворюється при випалі з решти оксидів, складе 3 %.

Приклад 2.

Розрахувати склад маси для отримання мулітової кераміки в разі заміни борвмісного компонента (ашаритової руди) боратом кальцію за таким хімічним складом маси, мас. %: $\text{SiO}_2 - 24,1$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 60,14$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,4$; $\text{CaO} - 2,32$; $\text{MgO} - 2,54$; $\text{BaO} - 8,16$; $\text{Na}_2\text{O} - 0,29$; $\text{K}_2\text{O} - 0,38$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 1,67$.

Шихтовий склад мас, мас. % є наступним:

каолін просянівський	- 28,0;
мармур	- 3,0;
барій вуглекислий (вітерит)	- 12,0;
стронцій вуглекислий	- 3,0;
глинозем ГО	- 40,0;
ашаритова руда	- 4,0;
глина часів-ярьська	-10,0.

Хімічний склад ашаритової руди, мас %: $\text{SiO}_2 - 0,82$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,43$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,09$, $\text{CaO} - 1,39$, $\text{MgO} - 46,52$, $\text{Na}_2\text{O} - 0,04$, $\text{K}_2\text{O} - 0,03$, $\text{B}_2\text{O}_3 - 38,06$, $\text{SO}_3 - 0,05$, в. п. п. - 13,33; $\Sigma = 100,76$.

Перш за все, виходячи з даних про хімічний склад ашаритової руди, треба визначити вміст оксидів, які міститиме матеріал після термообробки. Для цього спочатку розраховують хімічний склад ашариту на прожарену речовину таким чином:

$$\begin{aligned}P(\text{SiO}_2) &= 0,82 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 0,94; \\P(\text{Al}_2\text{O}_3) &= 0,43 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 0,50; \\P(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 0,09 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 0,10; \\P(\text{CaO}) &= 1,39 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 1,59; \\P(\text{MgO}) &= 46,52 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 53,24; \\P(\text{Na}_2\text{O}) &= 0,04 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 0,05; \\P(\text{K}_2\text{O}) &= 0,03 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 0,04; \\P(\text{B}_2\text{O}_3) &= 38,06 \cdot 100 : (100,76 - 13,33 - 0,05) = 43,54.\end{aligned}$$

Якщо із складу маси вивести 4 % ашариту, її хімічний склад (в мас. %) буде наступним:

$$\begin{aligned}P(\text{SiO}_2) &= 21,10 - 0,04 = 21,06; \\P(\text{Al}_2\text{O}_3) &= 60,14 - 0,02 = 60,12;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 0,40 - 0,004 = 0,396; \\
P(\text{CaO}) &= 2,32 - 0,06 = 2,26; \\
P(\text{MgO}) &= 2,54 - 1,82 = 0,72; \\
P(\text{BaO}) &= 8,16; \\
P(\text{Na}_2\text{O}) &= 0,29; \\
P(\text{K}_2\text{O}) &= 0,38; \\
P(\text{B}_2\text{O}_3) &= 1,67 - 1,67 = 0 \text{ (виводиться повністю)}.
\end{aligned}$$

Задану кількість B_2O_3 (1,67 мас.%) вводитимемо боратом кальцію, хімічний склад якого є наступним, мас. %: B_2O_3 – 29,72%, CaO – 24,25%, в.п.п. – 46,28%). Розрахуємо необхідну кількість борату кальцію:

$$\frac{1,67 \cdot 100}{29,72} = 5,62 \%$$

В такій кількості борату кальцію міститься певна кількість CaO :

$$\frac{5,62 \cdot 24,25}{100} = 1,36\%;$$

Тобто до складу маси ми маємо ввести CaO в кількості:

$$2,26 - 1,36 = 0,9 \text{ мас. \%}.$$

Визначаємо кількість мармуру, необхідну для введення 0,9 мас. % CaO , враховуючи, що вміст CaO в мармурі становить 55,7 мас. %:

$$\frac{55,7 \cdot 0,9}{100} = 0,5 \text{ мас. \%}$$

Для збереження хімічного складу маси, з якої був виведений ашарит, необхідно ввести до неї 0,72 % MgO . ця кількість може бути введена до маси магnezитом. Визначаємо кількість магnezиту, який необхідно ввести до складу маси, враховуючи, що до його складу входить 46,7 мас. % MgO :

$$\frac{0,72 \cdot 100}{46,7} = 1,54 \text{ мас. \%}$$

Таким чином, отримуємо новий склад шихти, мас. %:

каолін просянівський	– 28,0;
мармур	– 0,5;
магнезит	– 1,54;
карбонат барію	– 12,0;
карбонат стронцію	– 3,0;
глинозем ГО	– 40,0;
борат кальцію	– 5,62;
глина часів-ярська	– 10,0.

Надалі проводимо прогнози розрахунки фазового складу продуктів випалу даної маси.

Визначаємо кількість SiO_2 , яка необхідна для зв'язування Al_2O_3 , що міститься в матеріалі, в муліт з урахуванням вмісту оксидів алюмінію і силіцію в 1 молі муліту

$$305,7 \text{ мас.ч. } \text{Al}_2\text{O}_3 - 120 \text{ мас.ч. } \text{SiO}_2$$

$$60,14 \text{ мас.ч. } \text{Al}_2\text{O}_3 - X \text{ мас.ч. } \text{SiO}_2.$$

Звідси $X = 23,61$ мас. ч. SiO_2 необхідно для утворення муліту при взаємодії з 60,14 мас.ч Al_2O_3 , що міститься в масі.

Надлишкова кількість SiO_2 в матеріалі визначається як різниця загального вмісту SiO_2 та тієї кількості оксиду, який витрачений на утворення муліту

$$24,1 - 23,61 = 0,49 \text{ мас.}\%$$

Визначаємо кількість SiO_2 , яка необхідна для утворення 100 % муліту:

$$435,7 \text{ мас.ч. муліту} - 100 \%$$

$$120 \text{ мас.ч. } \text{SiO}_2 - X$$

Звідки $X = 28,18 \%$.

Далі з урахуванням визначеної вище кількості оксиду силіцію ($\text{SiO}_2 = 23,61$ мас. %), яка утворює муліт з певною кількістю оксиду алюмінію, що міститься в масі ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 60,14$ мас. %), розраховуємо кількість муліту, яка має утворитись в продуктах випалу маси:

$$28,18 \text{ мас. } \% \text{SiO}_2 - 100 \text{ мас.}\% \text{ муліту};$$

$$23,61 \text{ мас.ч } \text{SiO}_2 - X \text{ мас. ч. муліту},$$

Звідки $X = 83,78 \%$

Таким чином, прогнозними розрахунками показано, що у фазовому складі мулітової кераміки, отриманої при термообробці маси заданого складу, має утворитись 83,78 % муліту. Кількість залишкового кварцу становить 0,49 %. Кількість склофази, яка утворюється при випалі з решти оксидів, складе 15,73 %.

2.3.2 Фазовий склад кордієритової кераміки

Серед великої кількості магнійвмісних мінералів кордієрит із структурною формулою $Mg_2Al_3[AlSi_5O_{18}]$ відрізняється вельми низьким ТКЛР $(0,5 \div 1,0) \cdot 10^{-6}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Це зумовлює високу стійкість кордієритової кераміки до термічних ударів. Сировиною для виготовлення кордієритової кераміки служать природні магнійвмісні матеріали: тальк, магнезит, серпентин і технічні продукти. Як глиноземвмісні матеріали використовують високоякісні глини, каоліни, бентоніти зі стабільним хіміко-мінеральним складом. Для отримання щільноспечених кордієритових матеріалів (з водопоглинанням до 0,5%) використовують флюсуючі добавки (польові шпати, бор- і фторвмісні сполуки тощо).

Теоретичний вміст в кордієриті $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ оксиду магнію становить 13,7%, оксиду алюмінію – 34,9%, оксиду силіцію – 51,4%. У складі різних кордієритових матеріалів вміст фазоутворюючих оксидів, коливається в широких межах, мас %: MgO – $3 \div 20$, Al_2O_3 – $24 \div 45$, SiO_2 – $45 \div 65$. На діаграмі стану системи $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ склади промислових кордієритових матеріалів розташовуються в полі корунду або муліту (рис. 2.3).

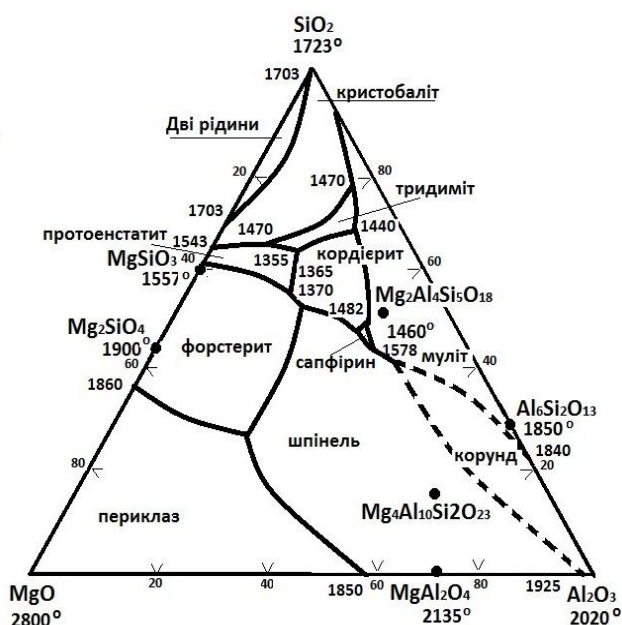


Рисунок 2.3. Діаграма стану системи $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$

Крім кордієриту, який надає матеріалу цінні властивості, кордієритова кераміка містить муліт, корунд та склофазу. До числа кордієритових зазвичай відносять матеріали, кількість кордієриту у фазовому складі яких є не нижчою за 50 %. Матеріали з меншою кількістю кордієриту називають напівкордієритовими або кордієрито-мулітовими.

Слід зазначити, що кордієритові матеріали можуть суттєво відрізнитись за фазовим складом. Кількість основної кристалічної фази (кордієриту) змінюється в широких межах від 50 мас. % до 90 мас.%. Властивості матеріалу у великій мірі залежать також від кількості та складу склофазу.

Для виробництва деталей електротехнічних виробів знайшли застосування головним чином кордієритові матеріали К-2, КДІ-2С, КДІ-2М, хімічний склад яких представлений в табл. 2.8

Таблиця 2.8 –Хімічний склад промислових кордієритових матеріалів та сировинні матеріали, що використовують для їх виробництва

Матеріал	Сировинні матеріали	Вміст оксидів, мас. %						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
К-2	Тальк, глина, шамот, електрокорунд або глинозем	39,63	50,82	1,62	0,47	6,85	0,15	0,46
КДІ-2С	Тальк, глина, пісок, глинозем	49,60	33,60	2,13	0,36	13,38	0,14	0,84
Л-24	Тальк, глина, шамот, корунд	41,50	49,50	1,00	0,19	7,50	-	0,30

Формування фазового складу кордієритової кераміки обумовлено багатьма чинниками: шихтовим складом маси, хімічним складом сировини, технологічними параметрами виробництва тощо. Фазовий склад кордієритової кераміки встановлюють петрографічним і рентгеноструктурним методами, а також розрахунковим шляхом.

Приклад 1.

Розрахувати шихтовий склад маси на основі Al(OH)₃, MgCO₃ і SiO₂ та теоретичного складу кордієриту. Хімічний склад вихідних компонентів приведений в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Хімічний склад сировини

Сировинні матеріали	Вміст компонентів, мас. %					Сума, мас. %
	в.п.п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	
Карбонат магнію	55,76	-	-	43,24	0,44	99,44
Двоокис силіцію	1,27	99,35	-	-	-	100,62
Гідроксид алюмінію	34,0	-	66,0	-	-	100,00

Перерахунок на прожарену речовину та приведення до 100 % здійснюємо за формулою 2.1. Результати представлені в табл. 2.10:

Таблиця 2.10 – Хімічний склад (на прожарену речовину) компонентів сировинної суміші

Сировинні матеріали	Вміст компонентів, мас. %				Сума, мас. %
	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	
Карбонат магнію	-	99,0	1,0	-	100,0
Двоокис силіцію	100,0	-	-	-	100,0
Гідроксид алюмінію	-	-	-	99,4	99,4

Враховуючи теоретичний вміст оксидів магнію, алюмінію та силіцію у складі кордієриту, визначаємо кількість цих оксидів, яка потрібна для утворення кордієриту в разі використання заданих вихідних компонентів:

$$\begin{array}{lll}
 \text{MgO} & \text{SiO}_2 & \text{Al}_2\text{O}_3 \\
 99 - 100; & 100 - 100; & 99,4 - 100; \\
 13,7 - X_1; & 51,4 - X_2; & 34,9 - X_3; \\
 \text{Звідси: } X_1 = 13,82; X_2 = 51,4; X_3 = 35,0.
 \end{array}$$

В перерахунку на 100 % маємо: MgO – 13,79; SiO₂– 51,29; Al₂O₃– 34,92.

Далі здійснюємо розрахунок кількості вихідних компонентів суміші:

$$\begin{array}{lll}
 \text{карбонату магнію} & \text{гідроксиду алюмінію} & \text{двоокису силіцію} \\
 100 - 43,24; & 100 - 66; & 100 - 99; \\
 X_1 - 13,79; & X_2 - 34,99; & X_3 - 51,29; \\
 \text{Звідси: } X_1 = 31,7; X_2 = 52,9; X_3 = 52,0.
 \end{array}$$

Здійснивши перерахунок складу суміші на 100 %, отримуємо наступний склад шихти, мас. %: карбонату магнію – 23,21; гідроксиду алюмінію – 38,72; двоокису силіцію – 38,07.

Приклад 2.

За шихтовим складом маси та хімічним складом готового матеріалу (табл. 2.10) спрогнозувати фазовий склад кордієритової кераміки. Сировинна суміш містить, мас. %: тальк – 37,2; вогнетривка глина 38,7; глинозем випалений – 17,1; польовий шпат – 7,0.

Для вирішення поставленої задачі спочатку необхідно розрахувати хімічний склад сировинної маси. З порядком розрахунків можна ознайомитись в розділі 3.3 навчального посібника «Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах» Ч. 1. «Технологічні розрахунки в хімічних технологіях тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів» [п. 5 в списку літератури до розділу 1].

Таблиця 2.11 – Хімічний склад сировинних матеріалів

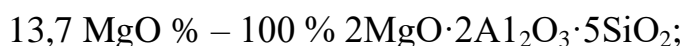
Сировинні матеріали	Вміст оксидів, мас. %				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Тальк	61,16	1,39	1,01	0,20	32,04
Глина вогнетривка	55,52	32,28	0,96	0,39	0,89
Глинозем випалений	0,41	99,00	0,09	0,45	0,06
Польовий шпат	64,04	21,91	0,21	0,90	0,73

Приводимо розрахунок хімічного складу кордієритового матеріалу в табличній формі (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Розрахунок хімічного складу кордієритового матеріалу

Сировинні матеріали	Шихтовий склад, мас. %	Вміст оксидів у складі сировини (на прожарену речовину), мас. %					Сума, %
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	
Тальк	37,2	22,8	0,50	0,47	0,07	11,8	35,64
Глина вогнетривка	38,7	21,5	12,5	0,37	0,15	0,34	34,86
Глинозем випалений	17,1	0,07	16,9	-	0,07	-	17,14
Польовий шпат	7,0	4,48	1,53	-	0,06	0,04	6,93
<i>Всього, мас. %</i>	-	48,87	31,53	0,84	0,35	12,18	94,59
<i>На прожарену речовину, мас. %</i>	-	51,7	33,3	0,9	0,4	12,8	100,0

Далі з урахуванням теоретичного складу кордієриту (MgO – 13,7 %, Al₂O₃ – 34,9 %, SiO₂ – 51,4 %) та вмісту оксидів магнію, алюмінію і силіцію у складі випаленого матеріалу (див. хімічний склад на прожарену речовину) розраховуємо максимальну кількість кордієриту, яка може утворитись при термообробці шихти заданого складу:



$$12,8 \text{ MgO } \% - X \% 2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2.$$

Звідси $X = 93,3 \%$ – максимальна кількість кордієриту, яка може бути синтезована з даної шихти, припускаючи, що на утворення кордієриту MgO витрачається повністю.

Визначимо кількість SiO_2 та Al_2O_3 , яка необхідна для утворення кордієриту, виходячи з його формули ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$). Оскільки до складу сполуки входить 80 мас.ч MgO (2 молекули з молекулярною масою 40), 203,8 мас. ч Al_2O_3 (2 молекули з молекулярною масою 101,9) та 300 мас.ч SiO_2 (5 молекул з молекулярною масою 60), маємо:

- кількість SiO_2

$$\begin{aligned} 80 \text{ мас. ч MgO} - 300 \text{ мас. ч SiO}_2; \\ 12,8 \text{ мас. ч MgO} - X \text{ мас. ч SiO}_2 \\ X = 48,0 \text{ мас.ч.;} \end{aligned}$$
- кількість Al_2O_3

$$\begin{aligned} 80 \text{ мас. ч MgO} - 203,8 \text{ мас. ч Al}_2\text{O}_3; \\ 12,8 \text{ мас. ч MgO} - X \text{ мас. ч Al}_2\text{O}_3; \\ X = 32,5 \text{ мас. ч.} \end{aligned}$$

Визначаємо залишкову кількість оксидів алюмінію та силіцію, які не увійдуть до складу кордієриту:

- залишкова кількість SiO_2 $51,7 - 48,0 = 3,7 \%$;
- залишкова кількість Al_2O_3 $33,3 - 32,5 = 0,8 \%$.

Враховуючи, що у складі кордієритових матеріалів зазвичай міститься певна кількість муліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) і склофази, розрахуємо їх вміст з урахуванням кількості оксидів, які не зв'язані в кордієриті.

Кількість муліту, який може утворитись з 0,8 % Al_2O_3 , розраховуємо, виходячи з міркувань тих міркувань, що в 100 % муліту міститься 72 % Al_2O_3 (такий висновок зроблено з розрахунків молекулярної маси муліту та оксидів, що його утворюють). Складаємо пропорцію

$$\begin{aligned} 72 \% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 100 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2; \\ 0,8 \% \text{ Al}_2\text{O}_3 - X \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2; \end{aligned}$$

Звідси $X = 1,10\%$ – прогнозна кількість утвореного муліту.

Кількість SiO_2 , який зв'язаний у вище визначеній кількості муліту, визначаємо за пропорцією

$$\begin{aligned} 28 \% \text{ SiO}_2 &- 100 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2; \\ X \% \text{ SiO}_2 &- 1,1 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2. \end{aligned}$$

Звідси $X = 0,31 \% \text{ SiO}_2$ зв'язаний у муліті.

До складу склофази увійдуть всі інші оксиди, які залишаться у незв'язаному складі: $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,9 \%$; $\text{CaO} = 0,4 \%$; $\text{SiO}_2 = 0,8 - 0,31 = 0,49 \%$. Таким чином, сумарна кількість склофази становить:

$$0,9 + 0,4 + 0,49 = 1,79 \%$$

В результаті проведених розрахунків прогнозний фазовий склад кордієритового матеріалу є наступним: кордієрит – 93,3%; муліт – 1,1%; склофаза – 1,79 %.

Приклад 3.

Розрахувати фазовий склад кордієритової кераміки, хімічний склад якої за даними хімічного аналізу є наступним, мас. %: $\text{SiO}_2 - 41,0$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 48,0$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,8$; $\text{CaO} - 0,9$; $\text{MgO} - 7,38$; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - 0,92$.

Розрахунок здійснюємо за кількістю MgO , враховуючи, що теоретичний вміст MgO в кордієриті становить 13,7 %. Складаємо пропорцію:

$$\begin{aligned} 13,7 \% \text{ MgO} &- 100 \% 2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2; \\ 7,38 \% \text{ MgO} &- X \% 2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2. \end{aligned}$$

Звідси $X = 53,87 \%$ – максимальна кількість кордієриту, яка може утворитись в матеріалі заданого складу.

Визначаємо кількість Al_2O_3 , зв'язаного у визначеній кількості:

$$\begin{aligned} 80,0 \text{ MgO} \% &- 203,8 \% 2\text{Al}_2\text{O}_3; \\ 7,38 \% \text{ MgO} &- X \text{ Al}_2\text{O}_3. \end{aligned}$$

Звідси $X = 18,8 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$ зв'язано в кордієриті.

Кількість Al_2O_3 , який не входить до складу кордієриту, дорівнює:

$$48,0 - 18,8 = 29,2\%.$$

Розраховуємо кількість SiO_2 , що входить до визначеної вище кількості кордієриту

$$\begin{aligned} 80,0 \% \text{ MgO} - 300 \% \text{ SiO}_2; \\ 7,38 \% \text{ MgO} - X \% \text{ SiO}_2. \end{aligned}$$

Звідси $X = 27,7\%$.

Кількість SiO_2 , який не входить до складу визначеної вище кількості кордієриту, складає

$$41,0 - 27,7 = 13,3\%.$$

Теоретичний вміст SiO_2 в муліті ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) становить 28 %.
Визначаємо кількість муліту, яка може утворитись з 13,3 % SiO_2 :

$$\begin{aligned} 100 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 28,18 \% \text{ SiO}_2; \\ X \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 13,3 \% \text{ SiO}_2. \end{aligned}$$

Звідси $X = 47,2\%$.

Таким чином, діоксид силіцію, який не входить до кордієриту, може піти на утворення 47,2 % муліту, якщо кількість Al_2O_3 буде достатньою для цього.

Виходячи з формули муліту, визначаємо кількість Al_2O_3 , яка може утворити муліт разом з 13,3 % SiO_2

$$\begin{aligned} 305,7 \text{ мас.ч } \text{Al}_2\text{O}_3 - 120 \text{ мас.ч } \text{SiO}_2; \\ X \text{ мас.ч } \text{Al}_2\text{O}_3 - 13,3 \text{ мас.ч } \text{SiO}_2. \end{aligned}$$

Звідси $X = 33,9\%$ – кількість оксиду алюмінію, який може бути зв'язаний в муліті разом із 13,4% SiO_2 .

Кількість Al_2O_3 , який не входить до складу кордієриту, складає 29,2 %. Цієї кількості Al_2O_3 не досить для утворення 47,5 % муліту. Тому в подальшому визначаємо кількість муліту, яка теоретично може утворитись з 29,2 % Al_2O_3

$$\begin{aligned} 100 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 71,82\% \text{ Al}_2\text{O}_3; \\ X \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 29,2 \% \text{ Al}_2\text{O}_3. \end{aligned}$$

Звідси $X = 40,67\%$ муліту.

Кількість SiO_2 , який увійде до складу визначеної кількості муліту (40,65 %), визначаємо з пропорції

$$100 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 28,18\% \text{ SiO}_2;$$

$$40,65 \% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - X \% \text{SiO}_2.$$

Звідси $X = 11,46 \% \text{SiO}_2$ зв'язано в муліт.

Тоді кількість SiO_2 , який не входить до складу кристалічних фаз (кордієрита і муліта) становить:

$$41,0 - 27,7 - 11,46 = 1,84 \%$$

Залишковий SiO_2 (1,84 %), не зв'язаний в кордієрит и муліт, може бути присутній в матеріалі:

а) у складі склофази, яка утворюється в результаті взаємодії з іншими оксидами, які не входять до складу муліту та кордієриту ($\Sigma (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) - 0,92 \% ; \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,8 \% ; \text{CaO} - 0,9 \% ; \text{SiO}_2 - 1,84 \%$). В цьому випадку кількість склофази визначається як:

$$1,8 + 0,9 + 0,92 + 1,84 = 5,46 \%$$

або з урахуванням визначеної вище прогнозованої кількості кордієриту та муліту:

$$100 - (53,87 + 40,67) = 5,46 \%$$

б) у вигляді кристалічних модифікацій кварцу, наприклад, кристобаліту в кількості 1,84 %. Тоді кількість склофази, що міститиметься в матеріалі дорівнює

$$1,8 + 0,9 + 0,92 = 3,62 \%$$

або з урахуванням визначеної вище кількості кордієриту та муліту:

$$100 - (53,87 + 40,67 + 1,84) = 3,62 \%$$

Таким чином, прогнозний фазовий склад кордієритового матеріалу, визначений розрахунковим чином, є таким:

$$\begin{aligned} \text{кордієрит} &\approx 53 \div 54 \% ; \\ \text{муліт} &\approx 40 \div 41 \% ; \\ \text{кордієрит} &\approx 0 \div 1,85 \% \\ \text{склофаза} &\approx 3,5 \div 5,5 \% . \end{aligned}$$

2.3.3 Фазовий склад стеатитових і форстеритових виробів

Стеатитова кераміка характеризується малими діелектричними втратами, високою механічною міцністю і широко застосовується в електротехніці, електроніці та інших галузях. Свою назву стеатитова кераміка отримала через стеатит – щільний різновид тальку, який є основним

сировинним матеріалом у даному виробництві.

Стеатитова кераміка характеризується значною густиною при статичному згині – до 190 Мн/м^2 (190 МПа), діелектричною проникністю в межах $5,5 \div 7$, діелектричними втратами при частоті 1 МГц и температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ в межах $(3 \div 25) \cdot 10^{-4}$. Завдяки високій пробивній напрузі стеатитова кераміка використовується як діелектрик для високовольтної техніки. В табл. 2.13 приведений хімічний склад деяких типових вітчизняних стеатитових мас.

Таблиця 2.13 – Хімічний склад деяких типових стеатитових матеріалів

Шифр матеріалу	Вміст оксидів (на прожарену речовину), %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	CaO	MgO	ZnO	BaO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
ТК-21	59,76	5,70	6,22	27,35	-	-	0,10	0,81	0,06
СПК-2	63,63	6,90	1,65	26,60	-	-	0,16	0,92	0,47
СПК-5	58,00	6,91	2,22	26,01	5,31	-	0,25	0,84	0,46
СНЦ	53,00	1,37	0,16	27,70	5,35	11,40	0,04	0,90	0,08
СК-1	54,22	0,99	-	28,60	-	15,40	-	0,76	0,03

Форстеритова кераміка є високовогнетривкою, що обумовило її широке використання для отримання вогнетривких матеріалів. Від вогнетривів форстеритова кераміка відрізняється більш щільною структурою. Як і стеатитова кераміка форстеритові матеріали мають незначні діелектричні втрати та високий питомий електроопір. Найчастіше форстеритова кераміка використовується як високочастотний діелектрик. Крім цих властивостей форстеритова кераміка також характеризується температурним коефіцієнтом лінійного розширення ($\text{ТКЛР} = (12,6 \div 13,0) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$), який близький до ТКЛР металів, тому вона надійно експлуатується в спаях з металами.

Для виробництва стеатитової та форстеритової кераміки застосовують високоякісні природні сировинні матеріали – гідросилікати магнію (стеатит, тальк, дуніт, серпентиніти, талькомагнезити та ін.), які відрізняються стабільним хіміко-мінеральним складом. Решта матеріалів (головним чином добавки) застосовуються у вигляді технічних продуктів (вітерит BaCO_3 , стронціаніт SrCO_3 , ашарит, цинкові білила ZnO) та природної сировини (глини, бентоніту та ін.), які вводять для зниження температури спікання.

Високочастотні і установлювальні стеатитові матеріали складаються з кристалічної кліноенстатитової ($60 \div 70 \%$) і скловидної ($30 \div 40 \%$) фаз. Кристалічна фаза представлена, як правило, метасилікатом магнію, тоді як склад скловидної фази різних стеатитових матеріалів залежить від складу маси та природи сировинних матеріалів. Тому відмінність властивостей

стеатитових матеріалів пояснюється, перш за все, різним складом склофази оскільки вид та кількість кристалічної фази є сталими.

Виробництво стеатитової та форстеритової кераміки базується на системі оксидів MgO-SiO_2 (рис. 2.4), яка містить 2 сполуки: метасилікат магнію або енстатит ($\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$) та ортосилікат магнію або форстерит ($2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$).

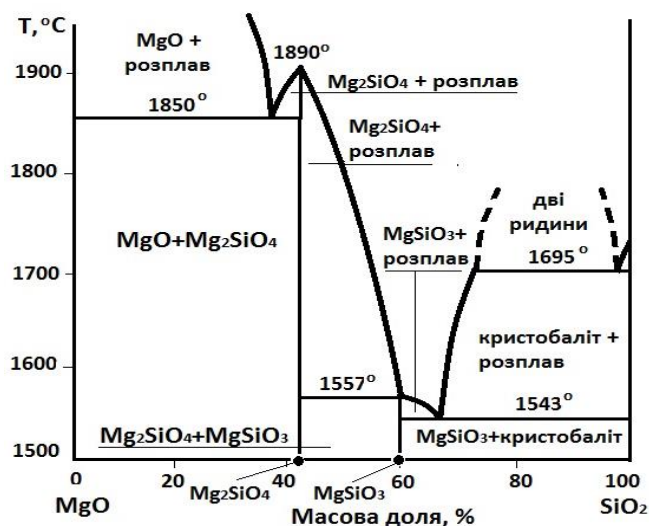


Рисунок 2.4. Діаграма стану системи MgO-SiO_2

Основною складовою стеатитових керамічних виробів є енстатит, який плавиться інконгруентно за температури 1557°C з утворенням форстериту та розплаву, має три поліморфні форми (енстатит, кліноенстатит, протоенстатит). При нагріванні до 538°C енстатит незворотно переходить у моноклінну форму (кліноенстатит), який, в свою чергу, перетворюється за температури 1010°C на високотемпературну ромбічну форму (протоенстатит). Поліморфні перетворення відбуваються зі зміною об'єму, що необхідно враховувати при проєктуванні режимів термообробки. Недоліком стеатитової кераміки є схильність до «старіння» за тривалої експлуатації, що також обумовлено наявністю поліморфних переходів. Основною кристалічною фазою форстеритової кераміки є форстерит ($2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$), який містить $57,2\%$ MgO і $42,8\%$ SiO_2 . Ортосилікат магнію плавиться конгруентно ($t = 1895^\circ\text{C}$), не має поліморфних форм, що обумовлює відсутність старіння внаслідок поліморфних перетворень. Як видно з рис. 2.4, форстеритвмісні суміші системи є надзвичайно вогнетривкими. Тому на їх основі виготовляють форстеритові вогнетриви, які відрізняються високою температурою деформації під навантаженням, стійкістю до дії металургійних шлаків та рівномірним термічним розширенням за високих температур.

При прогнозній оцінці фазового складу форстеритової та стеатитової кераміки виходять з припущення про те, що MgO при термообробці повністю

зв'язується: в першому випадку – у кліноенстатит ($MgO \cdot SiO_2$); в другому – у форстерит. Кількість кристалічної фази розраховують, виходячи із вмісту в стеатиті або форстериті оксиду магнію. Оскільки в даний час відсутні методи, які дозволяють експериментально встановити склад склоподібної фази стеатитових матеріалів, його прийнято визначати розрахунковим шляхом. Зазвичай склад склофази розраховується на підставі повного хімічного аналізу стеатитових матеріалів і фазового складу стеатиту, визначеного петрографічним методом. Отримані при цьому дані щодо кількості фаз, які виражені в об'ємних відсотках, перераховуються на масові відсотки з урахуванням густини стеатиту і метасилікату магнію.

Приклад 1.

Здійснити прогнозні розрахунки фазового складу продуктів випалу стеатитової маси, яка містить, мас. %: тальк – 77,0; глину часів-ярьську – 2,0; бентоніт черкаський – 2,0; карбонат барію (вітерит) – 14,0; цинкові білила – 5,0. Хімічний склад сировинних матеріалів наведений в табл. Д5-Д7 Додатку.

При здійсненні розрахунків припускають, що при випалі стеатитової кераміки утворюються лише дві фази – метасилікат магнію у вигляді кліноенстатиту та склофаза, а також, що утворення метасилікату магнію з тальку, який міститься в шихті, повністю завершується згідно з реакцією:



На першому етапі слід розрахувати хімічний склад випаленої стеатитової маси, який відповідає хімічному складу маси в перерахунку на прожарену речовину. Користуючись даними про хімічний склад сировинних матеріалів, здійснюємо розрахунок в табличному вигляді (табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Розрахунок хімічного складу випаленої стеатитової маси

Сировинні матеріали	Вміст в масі, мас. %	Вміст компонентів, мас. %										Сума, %
		впп	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	BaO	ZnO	
Тальк	77,0	2,80	47,24	0,37	0,79	–	25,80	–	–	–	–	74,20
Глина	2,0	0,19	1,02	0,67	0,02	0,01	0,02	0,01	0,06	–	–	1,81
Бентоніт	2,0	0,35	1,23	0,23	0,03	0,07	0,05	0,03	0,01	–	–	1,65
Вітерит	14,0	3,18	0,02	0,01	–	0,07	0,05	–	–	10,67	–	10,82
Цинкові білила	5,0	0,01	0,003	–	–	–	–	–	–	–	4,996	4,999
<i>Склад маси, %</i>	100,0	6,52	49,51	1,28	0,84	0,15	25,92	0,04	0,07	10,67	5,0	93,48
<i>Склад на прожарену речовину, %</i>	–	–	53,0	1,37	0,90	0,16	27,70	0,04	0,08	11,40	5,35	100,0

Вихідними даними для розрахунку фазового складу продуктів випалу стеатитової маси є вміст оксиду магнію (27,7 %), за яким знаходять кількість SiO_2 , необхідну для зв'язування такої кількості MgO . Виходячи з молекулярної маси MgO (40,32), SiO_2 (60,09), а також того, що в кліноенстатиті ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) співвідношення молей $\text{MgO} : \text{SiO}_2$ дорівнює 1 : 1, за відповідною пропорцією знаходимо кількість SiO_2 , необхідну для зв'язування 27,7 % MgO :

$$\begin{aligned} 40,32 \text{ мас.ч. MgO} &- 60,09 \text{ мас.ч. SiO}_2 \\ 27,7 \text{ мас.ч. MgO} &- X \text{ мас.ч. SiO}_2 \end{aligned}$$

Звідси $X = 41,3$ мас.ч

Відсотковий вміст $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ у складі маси можна визначити таким чином

$$27,7 + 41,3 = 69,0 \%$$

Далі слід визначити кількість вільного SiO_2

$$53,0 - 41,3 = 11,7 \%$$

Визначена кількість SiO_2 разом із технологічними добавками та домішками, що містяться в сировині може утворити наступну кількість склофази

$$100 - 69,0 = 31 \%$$

Такий же результат дають розрахунки кількості склофази шляхом додавання кількості вільного SiO_2 до кількості спеціальних добавок (BaO та ZnO) (Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO , Fe_2O_3)

$$1,37 + 11,7 + 11,4 + 5,35 + 0,04 + 0,08 + 0,16 + 0,90 = 31 \%$$

Таким чином, прогнозний фазовий склад продуктів випалу стеатитової маси є таким: кліноенстатит $\approx 69 \%$, склофаза $\approx 31 \%$.

Слід зазначити, що у порівнянні з даними петрографічного аналізу стеатитової кераміки за результатами прогнозних розрахунків фазового складу матеріалу міститься дещо менша кількість склофази та більша кількість метасилікату магнію. Разом з тим розрахунок фазового складу стеатитової кераміки, зокрема кількості та хімічного складу склофази, виявляє закономірності зміни властивостей стеатитової кераміки, що

дозволяє здійснювати їх спрямоване регулювання.

Як було зазначено вище, властивості стеатитової кераміки в значній мірі зумовлені властивостями склофази, яка утворюється при випалі виробів. Відомо також, що властивості скла залежать від його хімічного складу. Експериментальне визначення складу склофази стеатитових матеріалів є на сьогодні неможливим, тому хімічний склад склофази визначають розрахунковим шляхом.

На попередньому етапі розрахунків було визначено, що при випалі стеатитової фази заданого складу утворюється 31 % склофази, до складу якої входить, мас. %: BaO – 11,4; ZnO – 5,35; Al₂O₃ – 1,37; Na₂O – 0,08; K₂O – 0,04; CaO – 0,16; Fe₂O₃ – 0,90; SiO₂ – 11,7. С Здійснивши перерахунок на 100 %, отримуємо хімічний склад склофази:

$$P(\text{BaO}) = 11,4 \cdot 100 : 31 = 36,77$$

$$P(\text{ZnO}) = 5,35 \cdot 100 : 31 = 17,26$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1,37 \cdot 100 : 31 = 4,42$$

$$P(\text{Na}_2\text{O}) = 0,08 \cdot 100 : 31 = 0,26$$

$$P(\text{K}_2\text{O}) = 0,04 \cdot 100 : 31 = 0,13$$

$$P(\text{CaO}) = 0,16 \cdot 100 : 31 = 0,52$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,9 \cdot 100 : 31 = 2,90$$

$$P(\text{SiO}_2) = 11,7 \cdot 100 : 31 = 37,74.$$

В подальшому використовуючи дані щодо хімічного складу склофази можна розрахунковим шляхом визначити ті її властивості, які є аддитивними.

Слід зазначити, що такий розрахунок складу склофази не враховує ступінь завершеності реакції утворення метасиліката магнію, присутність невеликої кількості MgO в розплаві та можливу кристалізацію кліноенстатиту з розплаву, що безумовно позначається на хімічному складі склофази та її властивостях, які обумовлюють властивості стеатитової кераміки в цілому. В той же час використання прогнозного розрахунку складу склофази дає можливість регулювати властивості стеатитової кераміки шляхом спрямованої зміни складу склофази за рахунок обгрунтованого вибору складу маси.

2.3.4 Фазовий склад цельзіанової кераміки та ситалів

Цельзіанову кераміку і ситали використовують для виготовлення високочастотної техніки: каркасів високостабільних ізоляторів і катушок індуктивності, високочастотних конденсаторів великої реактивної потужності, конденсаторів малої ємності або ж тих, що призначені для використання в умовах високих робочих температур. Характерними особли-

востями цельзіанової кераміки є низький ТКЛР ($\sim 2,2 \cdot 10^{-6}$, град $^{-1}$), незначний температурний коефіцієнт діелектричної проникності, невеликі діелектричні втрати (до температур 300÷400 °С) та висока електрична міцність (до 45 МВ/м). Цельзіанові ситали також характеризуються діелектричними властивостями та жаростійкістю. Недоліком цельзіанової кераміки і ситалів є порівняно невелика механічна міцність.

Високі електричні характеристики цельзіанових матеріалів за високих температур пояснюються тим, що в матеріалі до температури близько 600 °С переважає електронна провідність, вище якої більшого значення набуває іонна складова електропровідності.

У фазовому складі цельзіанової кераміки переважна кількість належить цельзіану ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Вихідними матеріалами для отримання цельзіанової кераміки є такі: технічний вуглекислий барій (BaCO_3), високоякісні природні глини та каоліни, які вводять до складу технологічних сумішей відповідно до стехіометричного співвідношення оксидів в цельзіані. Як флюс доскладу маси вводять ашарит. Технологія виготовлення цельзіанової кераміки є двостадійною. Перша стадія полягає у синтезі цельзіану за температур 1250÷1300 °С. В подальшому продукти випалу подрібнюють і після надання форми напівфабрикатам здійснюють їх випал за температур 1380÷1400 °С.

При випалі цельзіанових мас утворюється кристалічна фаза і високобарієве алюмосилікатне скло. Склади мас цельзіанової кераміки належать до системи $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (рис. 2.5), основною трійною сполукою якої є цельзіан.

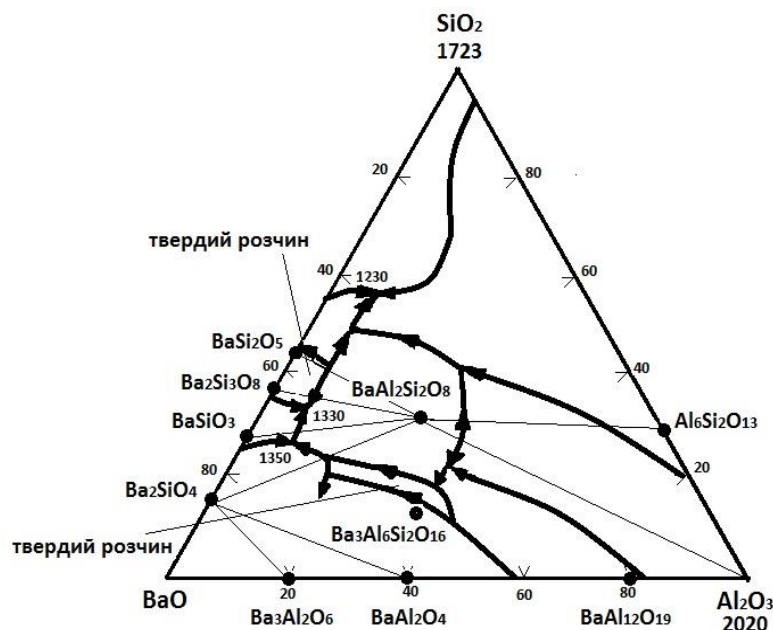


Рисунок 2.5. Діаграма стану системи $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Для цельзіана характерний складний поліморфізм. Низькотемпературний моноклінний β -цельзіан стійкий до температури 1590 °С, за якої він повільно та зворотно переходить у високотемпературний гексагональний α -цельзіан, який лишається стабільним до температури плавлення 1740 °С. В природі зустрічається також δ -цельзіан, який є нестійкою формою сполуки і при нагріванні монотропно переходить у α -цельзіан.

Крім цельзіану в системі існують вісім подвійних сполук: $\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{BaO} \cdot 3\text{SiO}_2$, $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $3\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{BaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$, які можуть бути присутніми в цельзіановій кераміці в домішковій кількості залежно від складу маси та точки її розташування на діаграмі стану $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

В системі утворюються два види твердих розчинів:

- 1) між $2\text{BaO} \cdot 3\text{SiO}_2$, $\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ та $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$;
- 2) між $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$ та $3\text{BaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, який плавиться інконгруентно за температури 1550 °С з утворенням барієвої шпінелі $3\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ та розплаву.

До найбільш легкоплавких відносяться евтектики з температурами плавлення:

- 1230 °С (між $\text{BaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ та SiO_2),
- 1330 °С (між $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$ та твердим розчином 2 типу),
- 1360 °С (між $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$ та $\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$).

Приклад 1.

Розрахувати шихтовий склад маси для синтезу цельзіанової кераміки при використанні наступних вихідних матеріалів: кварцовий пісок авдіївський, технічний глинозем та карбонат барію, якщо відомі втрати при прожарюванні цих матеріалів (в.п.п = 0,37 %; 1,54 %; 22,2 % відповідно). Нагадаємо, що відсотковий вміст оксидів барію, алюмінію та силіцію у складі цельзіану становить 40,85 %, 27,17 % та 31,98 % відповідно.

Для визначення кількості карбонату барію, необхідного для синтезу цельзіану, складаємо пропорцію

$$\begin{aligned} 100 \text{ мас.ч. BaCO}_3 &- (100 - 22,2) \text{ мас.ч. BaO} \\ X \text{ мас.ч. BaCO}_3 &- 40,85 \text{ мас.ч. BaO} \end{aligned}$$

Звідси $X = 52,51$ мас.ч. BaCO_3 .

Далі визначаємо кількість технічного глинозему та кварцового піску, що увійдуть до складу маси для виготовлення цельзіанової кераміки

$$\begin{aligned} & 100 \text{ мас.ч. техніч. Al}_2\text{O}_3 - (100 - 1,54) \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3 \\ & X \text{ мас.ч. техніч. Al}_2\text{O}_3 - 27,17 \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3 \text{ в цельзіані} \\ & X = 27,59 \text{ мас.ч. техніч. Al}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 100 \text{ мас.ч. кварцового піску} - (100 - 0,37) \text{ мас.ч. SiO}_2 \\ & X \text{ мас.ч. кварцового піску} - 31,98 \text{ мас.ч. SiO}_2 \text{ в цельзіані} \\ & X = 32,1 \text{ мас.ч. кварцового піску} \end{aligned}$$

Надалі слід привести склад сировинної суміші до 100 %:

$$\begin{aligned} & \text{вуглекислий барій} \quad 52,51 \cdot 100 : 112,2 = 46,8 \%, \\ & \text{технічний глинозем} \quad 27,59 \cdot 100 : 112,2 = 24,6 \%, \\ & \text{кварцовий пісок} \quad 32,1 \cdot 100 : 112,2 = 28,6 \%. \end{aligned}$$

Приклад 2.

Визначити вміст цельзіану ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) в продуктах випалу маси наступного складу, мас. %: карбонат барію – 50,0 %; каолін поланківський – 38,0 %; кварцовий пісок глібовський – 12,0 %, якщо відомий вміст основних фазоутворюючих оксидів у складі цих матеріалів ($\text{BaO} = 77,7 \%$ у вітериті; $\text{SiO}_2 = 98,2 \%$ в піску; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38,26 \%$ та $\text{SiO}_2 = 45,27 \%$ в каоліні).

При розрахунках слід врахувати, що співвідношення фазоутворюючих оксидів у складі цельзіану $\text{BaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 2\text{SiO}_2$ дорівнює 1 : 1 : 2. Відповідно вміст фазоутворюючих оксидів в сполучі (у %) є наступним: $\text{BaO} = 40,85$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 27,17$; $\text{SiO}_2 = 31,98$.

Враховуючи вміст основних фазоутворюючих оксидів у складі сировинних матеріалів, які входять до технологічної суміші, складаємо пропорцію, за якою визначимо кількість оксидів барію, алюмінію та силіцію, які присутні в матеріалі, отриманому при термообробці сировинної суміші заданого складу:

- для BaO

$$\begin{aligned} & 50,0 \text{ мас.ч. BaCO}_3 - 100 \% \text{ BaCO}_3 \\ & X \text{ мас.ч. BaO} - 40,85 \% \text{ BaO в BaCO}_3 \end{aligned}$$

Звідси $X = 20,42$ мас.ч. BaO вводиться з карбонатом барію.

- для Al_2O_3

$$\begin{aligned} & 38,0 \text{ мас.ч. каоліну} - 100 \% \text{ каоліну} \\ & X \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3 - 38,26 \% \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ в каоліні} \end{aligned}$$

Звідси $X = 14,54$ мас.ч. Al_2O_3 вводиться з каоліном

- для SiO_2

38,0 мас.ч. каоліну – 100 % каоліну

X мас.ч. SiO_2 – 45,27 % SiO_2 в каоліні

Звідси $X = 17,2$ мас.ч. SiO_2 вводиться з каоліном,

12,0 мас.ч. піску – 100 % піску

X мас.ч. SiO_2 – 98,2 % SiO_2 в піску

Звідси $X = 11,8$ мас.ч. SiO_2 вводиться з піском.

Таким чином, сумарна кількість SiO_2 , яка входить до складу сировинної суміші є наступною

$$17,2 + 11,8 = 29.$$

Припускаючи, що BaO повністю зв'язується при утворенні цельзіану, за відповідними пропорціями, з урахуванням відсоткового вмісту оксидів барію, алюмінію та силіцію у складі цельзіану, визначаємо кількість Al_2O_3 та SiO_2 , які входять до складу сполуки разом із визначеною раніше кількістю BaO :

- для Al_2O_3

20,42 мас.ч. $BaCO_3$ – 40,85 % BaO у складі цельзіану

X мас.ч. Al_2O_3 – 27,17 % Al_2O_3 у складі цельзіану

$X = 13,58$ мас.ч Al_2O_3 увійде до складу цельзіану,

- для SiO_2

20,42 мас.ч. $BaCO_3$ – 40,85 % BaO у складі цельзіану

X мас.ч. SiO_2 – 31,98 % SiO_2 у складі цельзіану

$X = 16,0$ мас.ч SiO_2 увійде до складу цельзіану.

Оскільки кількість оксидів алюмінію та силіцію, яка вводиться до складу суміші сировинними матеріалами, є достатньою для повного зв'язування оксида барію, кількість цельзіану, який може утворитись при термообробці суміші заданого складу, розрахуємо за кількістю BaO , яка була визначена раніше

20,42 мас.ч. BaO – 40,85 % BaO у складі цельзіану

X мас.ч $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – 100 % цельзіану

Звідси $X \approx 50,0$ мас.ч цельзіану теоретично може утворитись при термообробці сировинної суміші заданого складу.

2.3.5 Фазовий склад літєвої кераміки та ситалів

Керамічні матеріали, до складу яких входять переважно алюмосилікати літію, називають літєвою керамікою. Вона характеризується низьким значенням ТКЛР $(-6 \div 9) \cdot 10^{-7}$, град⁻¹, що обумовлює її високу термостійкість. Так, порувата літєва кераміка витримує різку зміну температур вище 1000 °С; щільна кераміка має дещо меншу термостійкість. Окрім цього, літєва кераміка має високі електроізоляційні властивості, тому вона використовується для виготовлення радіотехнічних виробів, які експлуатуються за підвищених температур, а також в умовах різких змін температури.

Літєві ситали та фотоситали отримують шляхом синтезу алюмосилікатів літію, що дає можливість отримувати склокристалічні матеріали з від'ємним $(-0,7 \cdot 10^{-7}$, град⁻¹), нульовим або додатним $(+15,0 \cdot 10^{-7}$, град⁻¹) ТКЛР. Такі матеріали також характеризуються високою термостійкістю, витримують нагрів та охолодження з високою швидкістю.

Основу літєвої кераміки і ситалів складають літійвмісні мінерали: евкриптит, сподумен, петаліт. Хімічний склад алюмосилікатів літію наведений в табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Хімічний склад та формули алюмосилікатів літію

Мінерал	Формула сполуки	Вміст оксидів, мас. %		
		Li ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Евкриптит	Li ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	11,9	40,4	47,7
Сподумен	Li ₂ O·Al ₂ O ₃ ·4SiO ₂	8,1	27,4	64,5
Петаліт	Li ₂ O·Al ₂ O ₃ ·8SiO ₂	4,9	16,7	78,4

Літєву кераміку виготовляють, головним чином, з природного сподумену. Для синтезу літєвих ситалів та кераміки використовують вуглекислий літій, високоякісну глину та кремнезем. Синтез літєвих алюмосилікатів відбувається в інтервалі температур 1100÷1250 °С.

За розташуванням фігуративних точок літєвої кераміки та ситалів на діаграмі стану системи Li₂O–Al₂O₃–SiO₂ можна оцінити фазовий склад продуктів синтезу (рис. 2.6). В системі існують такі потрійні сполуки:

- петаліт Li₂O·Al₂O₃·8SiO₂ відомий як природний мінерал (α -форма), а також отриманий шляхом синтезу (β -форма). Плавиться конгруентно за температури 1370 °С, характеризується ТКЛР = $+3,0 \cdot 10^{-7}$, град⁻¹ за температури до 1200 °С;

- сподумен $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2$ також існує в двох формах: природний мінерал α -сподумен, який за температури 900°C швидко перетворюється на високотемпературний β -сподумен, який плавиться конгруентно за $t = 1423^\circ\text{C}$, характеризується $\text{ТКЛР} = +9,0\cdot 10^{-7}, \text{град}^{-1}$ до 1200°C . β -сподумен відомий як природний так і синтетичний мінерал, утворює неперервний ряд твердих розчинів з SiO_2 , кінцевим членом якого є кітит;

- евкриптит $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ відомий у двох модифікаціях: штучна β -форма, яка утворює ряд евкриптитових твердих розчинів з SiO_2 , кінцевим членом якого є високотемпературний кварц. Високотемпературний β -евкриптит відрізняється великою анізотропією теплового розширення: від $-176\cdot 10^{-7} \text{град}^{-1}$ (\parallel вісі c) до $+82,1\cdot 10^{-7} \text{град}^{-1}$ (\perp вісі c). Низькотемпературний α -евкриптит відповідає природному мінералу евкриптиту, який за температури $972\pm 10^\circ\text{C}$ перетворюється на β -евкриптит.

Діаграма стану літійалюмосилікатної системи також показує можливість існування сполуки $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$, яка утворюється при повільному нагріванні природного петаліту до 1200°C . Ця сполука, як і петаліт, не кристалізується з розплаву.

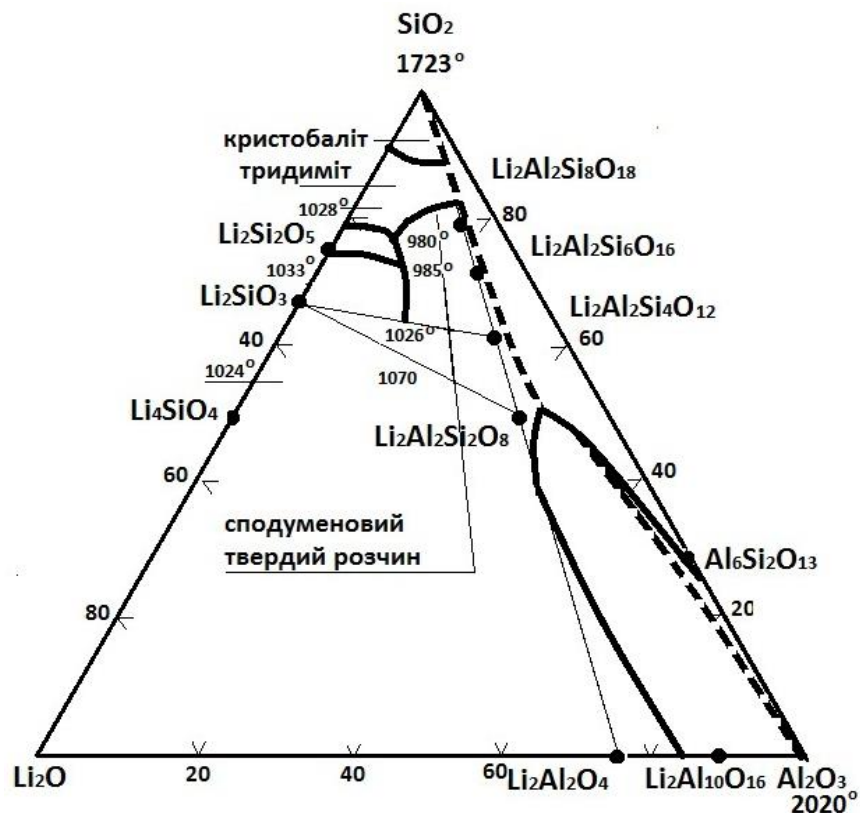


Рисунок 2.6. Діаграма стану $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

При кристалізації стекол системи $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ можливо утворення твердих розчинів між потрійними сполуками: петалітом, сподуменом та

евкрипитом. Евтектики в системі утворюються за $t = 980$ °С між сподуменом, дісилікатом літію та SiO_2 та $t = 985$ °С між дісилікатом літію, метасилікатом літію та сподуменом.

Приклад 1.

Розрахувати шихтовий склад маси для синтезу літієвих алюмосилікатів (див. табл. 2.15) з продуктів хімічної переробки силіцієвої кислоти, гідроксиду алюмінію та карбонату літію, якщо відомі втрати при прожарюванні цих матеріалів (в.п.п = 2,9 %; 34,6 %; 59,5 % відповідно).

По-перше, слід визначити кількість карбонату літію, який потрібен для синтезу кожної із сполук. Для цього складаємо відповідні пропорції:

- для синтезу евкриптиту

$$100 \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3 - (100 - 59,5) \text{ мас.ч. Li}_2\text{O}$$

$$X_{11} \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3 - 11,9 \text{ мас.ч. Li}_2\text{O}$$

$$X_{11} = 29,4 \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3$$

- для синтезу сподумену

$$100 \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3 - (100 - 59,5) \text{ мас.ч. Li}_2\text{O}$$

$$X_{12} \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3 - 8,1 \text{ мас.ч. Li}_2\text{O}$$

$$X_{21} = 20,0 \text{ Li}_2\text{CO}_3$$

- для синтезу петаліту

$$100 \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3 - (100 - 59,5) \text{ мас.ч. Li}_2\text{O}$$

$$X_{13} \text{ мас.ч. Li}_2\text{CO}_3 - 4,9 \text{ мас.ч. Li}_2\text{O}$$

$$X_{31} = 12,1 \text{ Li}_2\text{CO}_3.$$

На наступному етапі слід визначити кількість гідроксиду алюмінію та продуктів хімічної переробки силіцієвої кислоти, які увійдуть до складу сировинної суміші, відповідно до формул сполук, що синтезуються:

- для синтезу евкриптиту

$$100 \text{ мас.ч. Al(OH)}_3 - (100 - 34,6) \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3$$

$$X_{21} \text{ мас.ч. Al(OH)}_3 - 40,4 \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3$$

$$X_{21} = 61,77 \text{ мас.ч. Al(OH)}_3$$

$$100 \text{ мас.ч. продукт переробки SiO}_2 - (100 - 2,9) \text{ мас.ч. SiO}_2$$

$$X_{31} \text{ мас.ч. продукт переробки SiO}_2 - 47,7 \text{ мас.ч. SiO}_2$$

$$X_{31} = 49,12 \text{ мас.ч. продукта переробки SiO}_2$$

- для синтезу сподумену

$$100 \text{ мас.ч. Al(OH)}_3 - (100 - 34,6) \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3$$

$$X_{22} \text{ мас.ч. Al(OH)}_3 - 27,4 \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3$$

$$X_{22} = 41,90 \text{ мас.ч. Al(OH)}_3$$

$$100 \text{ мас.ч. продукт переробки SiO}_2 - (100 - 2,9) \text{ мас.ч. SiO}_2$$

$$X_{32} \text{ мас.ч. продукт переробки SiO}_2 - 64,5 \text{ мас.ч. SiO}_2$$

$$X_{32} = 66,42 \text{ мас.ч. продукта переробки SiO}_2$$

- для синтезу петаліту:

$$100 \text{ мас.ч. Al(OH)}_3 - (100 - 34,6) \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3$$

$$X_{23} \text{ мас.ч. Al(OH)}_3 - 16,7 \text{ мас.ч. Al}_2\text{O}_3$$

$$X_{23} = 25,53 \text{ мас.ч. Al(OH)}_3$$

$$100 \text{ мас.ч. продукт переробки SiO}_2 - (100 - 2,9) \text{ мас.ч. SiO}_2$$

$$X_{33} \text{ мас.ч. продукт переробки SiO}_2 - 78,4 \text{ мас.ч. SiO}_2$$

$$X_{33} = 80,74 \text{ мас.ч. продукта переробки SiO}_2$$

Надалі слід привести склад сировинних сумішей до 100 %. Розрахунок наведено в табличному вигляді (табл. 2.16).

Таблиця 2.16 – Склад сировинних сумішей для синтезу літєвих алюмосилікатів

Мінерал	Вміст компонентів, мас. %			Сума	Вміст компонентів на 100 %, мас. %		
	Li ₂ CO ₃	Al(OH) ₃	продукт переробки SiO ₂		Li ₂ CO ₃	Al(OH) ₃	продукт переробки SiO ₂
Евкрипит	29,40	61,77	49,12	140,29	20,96	44,03	35,01
Сподумен	20,00	41,90	66,42	128,32	15,59	32,65	51,76
Петаліт	12,10	25,53	80,74	118,37	10,22	21,57	68,21

Приклад 2.

Визначити кількість сподумену, який теоретично може утворитись при випалі сировинної суміші наступного складу, %: карбонат літію – 16,3; каолін просянівський марки КФН-2 – 58,0; кварцовий пісок новоселівський – 25,7, якщо відомий вміст фазоутворюючих оксидів у складі сировинних матеріалів (40,5 % Li₂O в карбонаті літію, 99,53 % SiO₂ в піску, 38,38 % Al₂O₃ та 44,64 % SiO₂ в каоліні). При розрахунках зважте на те, що при проектуванні складу маси виходили із співвідношення фазотвірних оксидів у сподумені – Li₂O : Al₂O₃ : 4SiO₂ дорівнює 1:1:4. Вміст фазотвірних оксидів в сполучі (у %) становить: Li₂O = 8,1; Al₂O₃ = 27,4; SiO₂ = 64,5.

Враховуючи вміст основних фазотвірних оксидів у складі сировинних матеріалів, які входять до технологічної суміші, складаємо пропорції, за якими визначимо кількість оксидів літію, алюмінію та силіцію, присутніх в матеріалі відповідно до заданого складу сировинної суміші:

- для Li_2O

100 % Li_2CO_3 – 40,5 % Li_2O в Li_2CO_3

16,3 мас.ч. Li_2CO_3 – X мас.ч. Li_2O

$X = 6,6$ мас.ч. Li_2O вводиться з карбонатом літію.

- для Al_2O_3

100 % каоліну – 38,38 % Al_2O_3 в каоліні

58,0 мас.ч. каоліну – X мас.ч. Al_2O_3

Звідси $X = 22,26$ мас.ч. Al_2O_3 вводиться з каоліном

- для SiO_2

100 % каоліну – 44,64 % SiO_2 в каоліні

58,0 мас.ч. каоліну – X мас.ч. SiO_2

Звідси $X = 25,89$ мас.ч. SiO_2 вводиться з каоліном,

100 % піску – 99,53 % SiO_2 в піску

25,7 мас.ч. піску – X мас.ч. SiO_2

Звідси $X = 25,58$ мас.ч. SiO_2 вводиться з піском.

Таким чином, сумарна кількість SiO_2 у складі сировинної суміші становить

$$25,89 + 25,58 = 51,47.$$

Припускаючи, що Li_2O повністю зв'язується при утворенні сподумену, за відповідними пропорціями, з урахуванням відсоткового вмісту оксидів літію, алюмінію та силіцію у складі сподумену, визначаємо кількість Al_2O_3 та SiO_2 , які входять до складу сполуки разом із визначеною раніше кількістю Li_2O :

- для Al_2O_3

8,1 % Li_2O у складі сподумену зв'язує 27,4 % Al_2O_3

6,6 мас.ч. Li_2CO_3 зв'яже X мас.ч. Al_2O_3

Звідси $X = 22,33$ мас.ч. Al_2O_3 увійде до складу сподумену,

- для SiO_2

8,1 % Li_2O у складі сподумену зв'язує 64,5 % SiO_2

6,6 мас.ч. Li_2CO_3 зв'яже X мас.ч. SiO_2

Звідси $X = 52,56$ мас.ч SiO_2 увійде до складу сподумену.

Порівняння розрахункових даних дозволяє зробити висновок, що для повного зв'язування Li_2O у сподумен кількості оксидів SiO_2 та Al_2O_3 , яка входить до складу сировинної суміші, є недостатньою. Тому в подальшому кількість сподумену, який може утворитись при термообробці суміші заданого складу, визначаємо за кількістю Al_2O_3 , який міститься в суміші в недостатній кількості

22,26 мас.ч. Al_2O_3 – 27,4 % Al_2O_3 у складі сподумену

X мас.ч $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ – 100 % сподумену

Звідси $X = 81,24$ мас.ч сподумену теоретично може утворитись при термообробці сировинної суміші заданого складу.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИКИ:

1. Розрахувати фазовий склад тонкокерамічних матеріалів за їх хімічним складом за спрощеним методом. Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Варіанти завдань

№	Вид матеріалу	Температура випалу, °C	Хімічний склад виробів, мас. %							
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
1	Електротехнічний фарфор	1400	69,15	25,22	0,54	0,20	0,83	0,23	2,51	1,32
2		1350								
3	Хімічно стійкий фарфор	1350	70,05	24,23	0,73	0,12	0,70	0,22	2,58	1,37
4		1300								
5	Санітарно-технічний фарфор	1280	71,86	23,20	0,81	0,10	0,12	0,21	0,96	2,74
6		1200								
7	Технічний керамограніт	1230	62,95	24,25	0,67	0,16	2,52	1,42	1,61	3,82
8		1170								

2. Розрахувати хімічний склад кордієритової маси на основі сировинних матеріалів, хімічний склад яких наведений в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Хімічний склад сировини (на прожарену речовину)

Сировинні матеріали	Вміст оксидів, мас. %					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O
Тальк онотський	61,16	1,39	1,01	0,20	32,04	-
Глина Веско-Екстра	55,52	32,28	0,96	0,39	0,89	-
Глинозем випалений	0,41	99,0	0,09	0,45	0,06	-
Польовий шпат	64,04	21,91	0,21	0,90	0,73	11,8

3. Користуючись рекомендаціями щодо вихідних сировинних матеріалів, спрогнозуйте фазовий склад кордієритових матеріалів наступного хімічного складу (мас. %): 51,7 SiO₂; 33,3 Al₂O₃; 0,9Fe₂O₃; 0,4CaO; 12,8 MgO.

4. За варіантом, вказаним викладачем, розрахувати хімічний склад мулітової або муліто-корундової маси, шихтовий склад якої наведено в табл. 2.19 та здійснити прогнозний розрахунок фазового складу готового матеріалу. Хімічний склад сировинних матеріалів наведений в таблицях Д5-Д7 Додатку.

Таблиця 2.19 – Шихтовий склад промислових мулітових та муліто-корундових мас для виготовлення електрокераміки

Сировинні матеріали	Номер варіанту						
	1	2	3	4	5	6	7
	Вміст компонентів, мас. %						
	УФ-46	УФ-53	Ураліт	102	УФ-50	МГ-2	КМ-1
Глинозем випалений	65,0	65,0	68,0	60,0	78,4	40,0	35,2
Карбонат барію	4,0	-	-	-	-	12,0	8,0
Глина	26,0	22,0	24,0	25,0	9,8	10,0	24,8
Мармур	3,0	3,0	6,0	3,0	3,0	3,0	2,0
Тальк сирий	2,0	-	-	4,0	-	-	-
Тальк випалений	-	-	-	-	1,9	-	-
Диборат барію	-	5,0	-	-	4,9	-	-
Плавіковий шпат	-	2,0	-	-	2,0	-	-
Магнезит	-	3,0	2,0	-	-	-	-
Доломіт	-	-	-	-	-	-	-
Карбонат стронцію	-	-	-	-	-	3,0	2,0
Каолін	-	-	-	-	-	28,0	28,0
Ашарит	-	-	-	-	-	4,0	-

5. Визначити фазовий склад продуктів випалу сировинної суміші, що складається з 22,6 % карбонату літію; 69,2 % часів-ярьської глини і 8,2 % технічного глинозему, якщо при проектуванні складу маси дотримувались стехіометричного складу евкриптиту. Відомості про хімічний склад компонентів сировинної суміші див. у табл. Д5-Д7 Додатку.

6. Розрахувати шихтовий склад маси для синтезу цельзіанової кераміки при використанні наступних вихідних матеріалів: кварцовий пісок, технічний глинозем та карбонат барію. Хімічний склад сировинних матеріалів наведений в табл. Д5 Додатку.

Література до розділу 2.

1. Федоренко О.Ю., Пітак Я.М., Рищенко М.І. та ін. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах: навч. посіб.: у 2 ч. / за ред. Рищенко М.І. Харків: Підручник НТУ «ХП», 2015. Ч. 2.

336 с.

2. Геворкян Е.С., Семченко Г. Д., Тимофеева Л. А., Нерубицький В. П. Нові матеріали і технології їх отримання: підруч. Київ: Основа, 2020. 744 с.

3. Лісачук Г. В, Федоренко О.Ю., Кривобок Р.В., Богданова К.Б., Захаров А.В. Електротехнічна кераміка на основі алюмосилікатів лужних та лужноземельних металів : монограф. Харків : Планета-Прінт, 2020. 200 с.

4. Ємченко І. В. Особливості покращення властивостей керамічних виробів шляхом інтенсифікації їх спікання: монограф. Львів: Вид-во Львів. комерц. акад., 2006. 243 с.

5. Лісачук Г. В. Функціональна кераміка: монограф. Харків: ТОВ «Планета-прінт», 2013. 280 с.

6. Федоренко О.Ю., Лісачук Г. В., Кривобок Р. В., Пітак Я. М., Волощук В.В., Захаров А.В., Чефранов Є.В. Теоретичні основи створення електротехнічної кераміки на основі системи RO (BaO, SrO, ZnO) – Al₂O₃ – SiO₂ :монограф. Одеса : Олді+, 2024. 104 с.

7. Яцков М. В., Турчин П.Ф., Поліщук М.М. Фізична хімія та хімія силікатів: навч. посіб. Рівне: РДТУ, 2000. 115 с.

8. Гречанюк В. Г., Гречанюк І.М. Фізична хімія і хімія силікатів: підруч. Київ: Талком, 2024. 506 с.

9. Буденкова Н.М., Яцков М.В. Фізична хімія та хімія силікатів: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2015. 188 с.

10. Applied Ceramic Technology. Vol. 1
file:///C:/Users/Home%20PC/Downloads/toaz.info-sacmi-vol-1-inglese-ii-edizione-pr_8d6c2344c32293c5ec7307cdd81c432d.pdf

11. Applied Ceramic Technology. Vol. 2
<https://ebookfinal.com/download/applied-ceramic-technology-vol-1-77th-edition-sacmi/>

ДОДАТОК

ХІМІЧНИЙ СКЛАД СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Таблиця Д.1 – Дані для розрахунку вмісту мікрокліну за K_2O у складі сировини

Вміст K_2O , %	Кількість польового шпату, %	Кількість Al_2O_3 , зв'язана у польовий шпат, %	Кількість SiO_2 , зв'язана у польовий шпат, %
10	59,26	10,85	38,41
9	53,33	9,76	34,57
8	47,41	8,68	30,73
7	41,48	7,59	26,89
6	35,55	6,51	23,04
5	29,63	5,42	19,20
4	23,70	4,34	15,36
3	17,78	3,25	11,52
2	11,85	2,17	7,68
1	5,93	1,08	3,84
0,9	5,33	0,98	3,46
0,8	4,74	0,87	3,07
0,7	4,15	0,76	2,69
0,6	3,56	0,65	2,30
0,5	2,96	0,54	1,92
0,4	2,37	0,43	1,54
0,3	1,78	0,33	1,15
0,2	1,19	0,22	0,77
0,1	0,59	0,11	0,38
0,09	0,53	0,10	0,35
0,08	0,47	0,09	0,31
0,07	0,41	0,08	0,27
0,06	0,36	0,07	0,23
0,05	0,30	0,05	0,19
0,04	0,24	0,04	0,15
0,03	0,18	0,03	0,12
0,02	0,12	0,02	0,08
0,01	0,06	0,01	0,04

Таблиця Д.2 – Дані для розрахунку кількості альбіту за вмістом Na_2O у сировині

Вміст Na_2O , %	Кількість польового шпату, %	Кількість Al_2O_3 , зв'язана у польовий шпат, %	Кількість SiO_2 , зв'язана у польовий шпат, %
10	84,82	16,48	58,34
9	76,34	14,83	52,51
8	67,86	13,18	46,67
7	59,37	11,54	40,84
6	50,89	9,89	35,00
5	42,41	8,24	29,17
4	33,93	6,59	23,34
3	25,45	4,94	17,50
2	16,96	3,30	11,67
1	8,48	1,65	5,83
0,9	7,63	1,48	5,25
0,8	6,79	1,32	4,67
0,7	5,94	1,15	4,08
0,6	5,09	0,99	3,50
0,5	4,24	0,82	2,92
0,4	3,39	0,66	2,33
0,3	2,54	0,49	1,75
0,2	1,70	0,33	1,17
0,1	0,85	0,16	0,58
0,09	0,76	0,15	0,52
0,08	0,68	0,13	0,47
0,07	0,59	0,11	0,41
0,06	0,51	0,10	0,35
0,05	0,42	0,08	0,29
0,04	0,34	0,07	0,23
0,03	0,25	0,05	0,17
0,02	0,17	0,03	0,12
0,01	0,08	0,02	0,06
11,79	100,0	19,43	68,78

Таблиця Д.3 – Дані для розрахунку кількості анортиту за вмістом СаО у сировині

Вміст СаО, %	Кількість польового шпату, %	Кількість Al ₂ O ₃ , зв'язана у польовий шпат, %	Кількість SiO ₂ , зв'язана у польовий шпат, %
10	49,65	18,20	21,40
9	44,68	16,39	19,28
8	39,72	14,57	17,20
7	34,76	12,75	14,98
6	29,79	10,93	12,84
5	24,83	9,11	10,70
4	19,86	7,29	8,56
3	14,89	5,47	6,42
2	9,93	3,64	4,28
1	4,96	1,82	2,14
0,9	4,47	1,64	1,93
0,8	3,97	1,46	1,72
0,7	3,48	1,28	1,50
0,6	2,98	1,09	1,28
0,5	2,48	0,91	1,07
0,4	1,99	0,73	0,86
0,3	1,49	0,55	0,64
0,2	0,99	0,36	0,43
0,1	0,50	0,18	0,21
0,09	0,45	0,16	0,19
0,08	0,40	0,15	0,17
0,07	0,35	0,13	0,15
0,06	0,30	0,11	0,13
0,05	0,25	0,09	0,11
0,04	0,20	0,07	0,09
0,03	0,15	0,055	0,06
0,02	0,10	0,04	0,04
0,01	0,05	0,02	0,02
20,1	100,0	36,70	43,20

Таблиця Д.4 – Дані для розрахунку кількості мулиту за вмістом Al_2O_3 , введеного глиноземвмісними матеріалами

Вміст Al_2O_3 , %	Кількість мулиту в $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, %	Кількість SiO_2 , що зв'язана у муліт, %
60	83,568	23,568
50	69,640	19,640
40	55,712	15,712
30	41,784	11,784
20	27,856	7,856
10	13,928	3,928
9	12,535	3,535
8	11,142	3,142
7	9,750	2,750
6	8,357	3,357
5	6,964	1,964
4	5,571	1,571
3	4,178	1,178
2	2,786	0,786
1	1,393	0,393
0,9	1,253	0,353
0,8	1,114	0,314
0,7	0,975	0,275
0,6	0,836	0,236
0,5	0,696	0,196
0,4	0,557	0,157
0,3	0,418	0,118
0,2	0,279	0,079
0,1	0,139	0,039
0,09	0,125	0,035
0,08	0,111	0,031
0,07	0,097	0,027
0,06	0,084	0,024
0,05	0,070	0,020
0,04	0,056	0,016
0,03	0,042	0,012
0,02	0,028	0,008
0,01	0,014	0,004

Таблиця Д5 – Хімічний склад сировини для виготовлення технічної кераміки і ситалів

№ п/п	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %												
		в.п.п	Li ₂ O	ZnO	BaO	SrO	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
1	Вуглекислий літій	59,5	40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Цинкові біліта	0,02	-	99,92	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-
3	Вігерит	23,0	-	-	76,2	-	-	0,14	0,07	0,5	0,36	-	-	-
4	Стронціаніт	29,8	-	-	-	70,2	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Ашарит	12,62	-	-	-	-	38,06	0,82	0,43	1,39	46,52	0,03	0,04	0,09
6	Діборат барію	-	-	-	52,41	-	47,59	-	-	-	-	-	-	-
7	Технічний глинозем	0,02	-	-	-	-	-	0,18	99,5	-	-	-	0,3	-
8	Глинозем випалений	-	-	-	-	-	-	0,19	99,51	-	-	-	0,3	-
9	Корунд	-	-	-	-	-	-	0,5	99,3	-	-	-	0,2	-
10	Магnezит	49,7	-	-	-	-	-	2,5	-	0,3	46,0	-	-	1,5
11	Тальк	4,66	-	-	-	-	-	63,19	0,05	-	31,80	-	-	0,3
12	Тальк випалений	-	-	-	-	-	-	66,75	0,05	-	33,35	-	-	0,31
13	Плавииковий шпат	32,15	-	-	-	-	-	7,6	8,2	49,15	0,9	-	-	2,0
14	Мармур	42,61	-	-	-	-	-	1,19	0,22	55,4	0,56	-	-	0,015
15	Пісок кварцовий	0,02	-	-	-	-	-	98,20	1,2	0,20	0,04	-	0,20	0,14

Таблиця Д6 – Хімічний склад деяких вогнетривких і тугоплавких глин України

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Вогнетривкість
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Глини України										
1	Часів - Ярска глина Донецької обл.	9,39	51,66	32,06	0,81	0,85	0,61	2,44	1,57	1580 – 1730
2	Веселовська глина (ТОВ «Глини Донбасу»)	5,2	69,9	19,10	2,69	0,52	0,50	2,48-	0,41-	1580 – 1710
3	Дружківська глина Донецької обл.	11,41	57-61	29,95	2,1	0,8	0,43	2,5	0,9	1580 – 1730
4	Андріївська глина Донецької обл. (ТОВ «Веско»):									
	«Екстра»	11,00	60,00	34,00	1,50	0,50	0,60	2,10	0,55	1710
	«Прима»	10,00	60,00	30,00	2,55	0,50	0,60	2,10	0,55	1710
	«Граніт»	8,50	65,00	28,00	2,50	0,50	0,60	2,10	0,50	1690
	«Керамік»	7,20	70,00	23,00	2,60	0,50	0,40	2,00	0,40	1630
	«Технік-1»	8,30	65,00	27,00	3,50	0,50	0,60	2,00	0,40	1630
	«Технік-2»	7,20	70,00	23,00	3,50	0,50	0,40	2,00	0,40	1590
5	Новорайська глина Донецької обл.									
	ДН-0	9,87	51,36	32,72	1,69	0,76	0,75	1,06	1,00	1580 – 1730
	ДН-1	9,95	51,59	32,25	2,24	0,74	0,78	1,45	1,00	
	ДН-2	9,29	54,25	30,11	3,20	0,74	0,78	1,26	0,90	
ДНПК-1	7,41	60,25	24,59	4,02	0,75	0,75	2,02	0,40		
6	Полозька глина Запорізької обл.									
	ПЛГ-1	12,96	49,30	34,46	2,23	0,15	0,19	0,33	0,30	1610 – 1730
	ПЛГ-2	11,71	54,68	29,21	1,93	1,03	0,60	0,31	0,18	
ПЛГ-3	10,9	57,0	27,94	2,08	1,08	0,38	0,28	0,21		
7	П'ятихатська глина Дніпропетровської обл.									
	ПГ-1	10,69	55,50	28,90	1,20	0,60	1,30	0,60	0,70	1580 – 1750
ПГ-2	12,22	56,20	28,40	1,00	0,90	1,00	0,40	0,30		

Таблиця Д7 – Хімічний склад каолінів України

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %							Сума	
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O		Na ₂ O
Каоліни України										
1	Глуховещький каолін (Вінницька обл.):									
	каолін первинний	8,70	66,70	22,34	1,50	0,60	0,74	–	–	100,5
	каолін мокрого збагачення (МЗ)	12,81	47,28	37,69	0,38	0,84	0,36	0,27	сліди	99,63
	каолін сухого збагачення (СЗ)	12,83	47,13	37,54	0,41	0,62	0,42	0,34	сліди	99,31
	каолін (КС-1)	13,50	45,40	38,20	0,90	1,21	–	0,50	0,20	100,73
	каолін флотажного збагачення (КФ-3)	13,0	47,00	36,00	1,40	0,20	0,12	1,00	0,06	98,56
2	Присянівський каолін (Дніпропетровська обл.):									
	каолін первинний (П)	4,26	76,14	18,05	0,77	0,53	0,61	–	–	10,36
	каолін мокрого збагачення (МЗ)	13,0	46,11	38,28	0,50	0,92	0,47	0,49	сліди	99,77
	каолін гранульований (КФН-2)	13,6	44,64	38,38	1,22	1,18	0,20	0,43	0,42	100,07
	каолін грудковий (КФН-3)	13,5	48,0	36,00	1,4	0,90	–	–	–	99,8
3	Новоселівський каолін (Черкаська обл.), вторинний	13,39	46,48-58,0	37,16	0,70	0,42	0,35	0,53	0,01	100,49
4	Полозький каолін (Запорізька обл.), вторинний ПЛК-В ПЛК-0	12,84	48,20	35,80	1,54	0,72	0,28	0,33	0,10	100,17
		12,00	51,66	32,53	2,15	0,98	0,16	0,42	0,08	100,10
5	Великогадомський (Вінницька обл.) первинний збагачений	8,85	63,8	26,1	1,36	0,05	0,08	0,22	0,03	100,49
		13,10	47,10	37,7	0,90	0,02	0,07	0,36	0,03	99,28
6	Жезелевський (Вінницька обл.) збагачений	12,9	45,1	36,20	0,65	0,06	0,04	0,09	0,03	95,07
7	Турбовський (Вінницька обл.) збагачений	13,2	47,30	35,30	0,92	1,29	0,03	0,10	0,02	98,16
8	Паланківський (Вінницька обл.) вторинний	14,24	45,27	38,26	0,51	0,30	сліди	0,20	сліди	98,78
9	Лузький каолін-сирець Грузливецький (Хмельницька обл.)	5,00	64,20	21,70	0,98	0,09	–	7,10	0,30	99,36
10	Лузький каолін Майдан-Вільський (Хмельницька обл.)	4,56	59,02	27,27	1,66	0,33	0,25	2,58	0,13	95,80
11	Лузький каолін Дубровський (Житомирська обл.)	5,54–	72,96–	16,53–	0,92–	0,35–	0,11–	4,08–	0,70–	–
		5,95	74,61	20,37	1,77	0,46	0,25	5,95	0,98	–
12	Лузький каолін Єкатеринівський (Донецька обл.)	2,96–	72,82–	15,76–	0,44–	0,66–	0,46–	5,21–	0,40–	–
		3,00	73,70	16,38	0,74	0,91	0,48	5,27	0,79	–

ЗМІСТ

Вступ	3
РОЗДІЛ 1. Класична тонка кераміка.....	4
1.1. Технологічні розрахунки, що враховують зміну вологості сировини та технологічних сумішей	4
1.1.1. Вологість матеріалів та способи її подання.....	4
1.1.2. Перерахунок кількості вологого матеріалу на суху речовину....	5
1.1.3. Перерахунок кількості сухого матеріалу на вологу речовину....	6
1.1.4. Перерахунок кількості матеріалу з однієї вологості на іншу.....	7
1.2. Розрахунки кількості матеріалів для отримання пластичної маси	11
1.2.1. Особливості формування виробів з технологічних сумішей, отриманих різними способами	11
1.2.2. Визначення кількості прес-порошку та шлікеру для отримання пластичної маси заданої вологості.....	12
1.3. Розрахунки кількості матеріалів для виготовлення шлікерів.....	17
1.3.1. Загальні відомості про склад шлікерів.....	17
1.3.2. Розрахунок кількості сировинних матеріалів, води та помельних тіл при виготовленні поливних шлікерів.....	18
1.3.3. Розрахунок вмісту сухої речовини та вологості шлікеру за його густиною	25
Література до розділу 1	29
РОЗДІЛ 2. Технічна кераміка нової генерації.....	31
2.1. Загальні відомості про фазовий склад керамічних матеріалів.....	31
2.2. Розрахунок фазового складу тонкокерамічних виробів за їх шихтовим та хімічним складом.....	31
2.3. Прогнозування фазового складу технічної кераміки на основі алюмосилікатів	41
2.3.1. Фазовий склад мулітових та муліто-корундових виробів.....	41
2.3.2. Фазовий склад кордієритової кераміки	47
2.3.3. Фазовий склад стеатитових і форстеритових виробів	54
2.3.4. Фазовий склад цельзіанової кераміки та ситалів.....	59
2.3.5. Фазовий склад літієвої кераміки та ситалів.....	64
Література до розділу 2	70
Додаток.....	72

Навчальне видання

Методичні вказівки

до практичних занять з навчальної дисципліни
«Хімічні технології тонкої і технічної кераміки»
для студентів денної і заочної форм навчання
за спеціальністю G1 «Хімічна технологія та інженерія»

Укладачі:

ФЕДОРЕНКО Олена Юріївна

ЛІСАЧУК Георгій Вікторович

КРИВОБОК Руслан Вікторович

БАГЛАЙ Володимир Юрійович

Відповідальний за випуск доц. Нагорний А.О.

Роботу до видання рекомендував проф. Пітак Я.М.

В авторській редакції

ПЛАН 2025 р., поз. 452

Гарнітура Times New Roman.

Ум. друк. арк.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Електронне видання