

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

**«ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОЇ
ТА ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ»**

*(для студентів I курсу денної форми навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю
161 – Хімічні технології та інженерія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2020

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Хімічна технологія архітектурно-будівельної та технічної кераміки» (для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. В. Саввова, Г. К. Воронов, О. І. Фесенко, Ю. О. Смирнова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 38 с.

Автори : д-р техн. наук, доц. О. В. Саввова,
канд. техн. наук, доц. Г. К. Воронов,
канд. техн. наук, асист. О. І. Фесенко,
канд. техн. наук, ст. викл. Ю. О. Смирнова

Рецензент

Т. Д. Панайотова, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою хімії та інтегрованих технологій, протокол № 6 від 19.12.2019.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1	
Технологія кераміки з електричними функціями.....	5
1.1 Загальні положення.....	5
1.2 Експериментальна частина.....	14
1.2.1 Виготовлення керамічних зразків з електричними функціями.....	14
1.2.2 Дослідження властивостей електротехнічної кераміки.....	14
1.3 Оформлення результатів роботи.....	18
Лабораторна робота № 2	
Технологія кераміки з медичними функціями.....	19
2.1 Загальні положення.....	19
2.2 Експериментальна частина.....	22
2.2.1 Синтез стекол та композицій на їх основі	23
2.2.2 Дослідження структури та властивостей стоматологічної кераміки.....	25
2.2.3 Підготовка металевої поверхні перед нанесенням склокристалічного покриття.....	31
2.2.4 Дослідження властивостей склокристалічних матеріалів для стоматології.....	34
2.3 Оформлення результатів роботи.....	37
Список рекомендованих джерел.....	38

ВСТУП

Кераміка в останні роки стала третім промисловим матеріалом після металів і полімерів завдяки своїм фізичним і хімічним властивостям: малій питомій вазі, високими жароміцності і хімічній інертності та корозійної стійкості.

Сьогодні, в період бурного розвитку нанотехнологій, з'явилися нові можливості з покращення властивостей кераміки і композитів на її основі. Особлива увага приділяється розробці технічної кераміки та кераміки зі спеціальними властивостями (фізичними, хімічними, біологічними) у пріоритетних галузях країни: приладобудуванні, авіа- та ракетобудуванні, машинобудуванні, медицині, енергетиці, металургії, хімічній і будівельній промисловості.

У даному виданні з урахуванням сучасних тенденцій в технології технічної кераміки наведені технології основних видів кераміки спеціального призначення. Укладачі вважають, що даний матеріал є основним при вивченні технології технічної та спеціальної кераміки.

Мета роботи – вміти обрати і обґрунтувати вихідну сировину, матеріали та напівпродукти відповідно до умов хімічного виробництва за спеціалізацією з урахуванням технологічних та інших невизначеностей.

Лабораторна робота № 1

ТЕХНОЛОГІЯ КЕРАМІКИ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ФУНКЦІЯМИ

Мета роботи – синтезувати кераміку з електричними функціями, розробити технологічні параметри синтезу та дослідити її властивості.

1.1 Загальні положення

Різновидом технічної кераміки є електротехнічна порцеляна (ЕТП). В наш час малогабаритні ізолятори випускають зі скла та полімерів. Ця технологія простіша. Але зі скла неможливо виготовити великогабаритні ізолятори. Скло не має для цього достатньої термостійкості та механічної міцності. Тому великі вироби виготовляють з електротехнічної порцеляни.

Ізолятори слугують для того, щоб електрично ізолювати та механічно підтримувати струмопровідні частини апаратів і розподільних пристроїв високої напруги. Залежно від пробивної напруженості ізолятори поділяються на низьковольтні – до 500 В і високовольтні – понад 500 В.

За призначенням високовольтні ізолятори ділять на ізолятори та ізоляційні частини. Останні не працюють на електричній пробій, але повинні забезпечувати певну розрядну напругу по поверхні і мати необхідну механічну міцність. У конструкційному відношенні розрізняють наступні види високовольтних ізоляторів: опорні, прохідні, штирові, ізоляційні частини і покриття. Низьковольтні ізолятори поділяють на дві групи: лінійні і установчі.

Низьковольтні ізолятори застосовують для телефонних ліній, для зовнішніх і внутрішніх мереж низької напруги. Високовольтні порцелянові ізолятори використовують для високовольтної апаратури й високовольтних ліній електропередач; до них пред'являють більш високі вимоги щодо діелектричних та інших властивостей. На повітряних лініях електропередач застосовують підвісні й штирові ізолятори.

Видів електротехнічної порцеляни відомо багато:

- 1) кварц-польовошпатована;
- 2) кварцова (підвищена міцність ЕТП);
- 3) цирконієва – $ZrO_2 \cdot SiO_2$;
- 4) глиноземна;
- 5) діопсидова – $CaSiO_3 \cdot MgSiO_3$;
- 6) анортитова – $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$;
- 7) сподуменова – $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$.

Основні сировинні компоненти виробництва ЕТП – це польові шпати або пегматити, кварц, каолін і вогнетривкі глини. Польові шпати, що застосовуються для виробництва ЕТП, повинні характеризуватися співвідношенням $K_2O/Na_2O > 2$.

У виробництві електропорцеляни до сировини висувають такі вимоги:

– глини – вміст Al_2O_3 не менше 30 %, забарвлюючих оксидів – не більше 2,5. Початок спікання в діапазоні температур 1 100–1 150 °С, міцність напівфабрикату в сухому стані – не менше 80 кг/см². Найчастіше використовують глини родовищ України - наприклад Веселовського родовища;

– каоліни – вміст Fe_2O_3 не більше 1,2 %, CaO – не більше 0,8, механічна міцність висушеного каоліну не менше 12 кг/см². Застосовують безелектролітний каолін. Найчастіше – це якісні каоліни – Глуховецький і Присянівський.

– кварцовий пісок – вміст SiO_2 – не менше 98 %, Fe_2O_3 і TiO_2 – не більше 0,15, сума CaO і MgO – не більше 0,2. Кварц підвищує міцність високовольтної порцеляни.

Знаючи хімічний склад порцеляни і температуру випалу ЕТП, можна розрахувати його фазовий склад (тобто вміст в ньому муліту, кристобаліту і польовошпатового скла). Описана методика може бути застосована до будь-якого типу порцеляни.

Хімічний склад, мас. %: SiO_2 – 72,02; Al_2O_3 – 21,83; Fe_2O_3 – 0,55; TiO_2 – 0,42; CaO – 0,89; MgO – 0,38; K_2O – 2,81; Na_2O – 1,20.

Температура випалу ЕТП заданого складу – 1 350 °С. Фазовий склад даного електропорцеляни після випалу при температурі 1 350 °С, %: склофаза – 56,87; вільний кремнезем – 27,29; муліт – 15,81; сума складових фаз – 99,97.

При складанні маси для твердої порцеляни за основу зазвичай беруть 50 % глинистих матеріалів, 25– кварцу і 25 – польового шпату. Потім склад маси коректують, щоб підвищити ті властивості, які найбільш важливі для конкретних умов роботи виробів. Зі збільшенням вмісту глинистих матеріалів у порцеляновій масі зростає термічна стійкість черепка, зі збільшенням вмісту кварцу – його механічна міцність, зі збільшенням вмісту польового шпату – його електрична міцність. При розрахунку маси особливу увагу необхідно приділяти складу польового шпату. Наявність в польовому шпату слюди призводить до утворення пір з оплавленими краями, що знижує діелектричні показники ізоляторів і міцність. Застосування калієвого польового шпату у виробництві високовольтних ізоляторів має ряд переваг в порівнянні з натрієвих шпат – альбітом.

На якість порцелянових виробів великий вплив має гранулометричний склад компонентів вихідної маси, особливо тонина помелу спіснюючих матеріалів – кварцу і польового шпату. При виробництві помел порцелянових мас виробляють до залишку на ситі 10 000 отв/см² не більше 3–7 %.

Формувальні властивості маси і якість готових ізоляторів значно підвищуються при комбінованій їй обробці підігрівом рідкої маси перед фільтропресуванням (при температурі близько 90 °С впродовж доби) з подальшим вакуумуванням пластичної маси.

Найбільше застосування знайшли кварц-польовошпатові й глиноземні електротехнічні порцеляни.

Формування ізоляторів з пластичної маси. Опорно-штирові ізолятори формують на одношпindelних верстатах в гіпсових або сталевих формах за допомогою сталевих шаблонів. Ізолятори формують з маси, що має форму циліндрів і одержуваної безпосередньо з вакуумних масом'ялок.

Вироби більш однорідної структури (наприклад, штирові та підвісні ізолятори) на деяких заводах формують гарячим обертовим штемпелем на верстатах. Між гарячою поверхнею штемпеля і виробу, що формується утворюється парова плівка, що запобігає прилипанню штемпеля до маси навіть при складному профілі підвісних ізоляторів. Залежно від властивостей маси оптимальна температура штемпеля коливається в межах 110–140 °С. Вологість маси 23–24 %. Гарячий прес забезпечує краще зсідання, ніж формування за допомогою шаблону, і при потокової організації завантаження і розвантаження форм має високу продуктивність.

Формування ізоляторів починається з того, що форма з вкладеною в неї масою укладається в патрон формувального верстату. Шаблоном, прикріпленим до нахилу верстата, оформляється увігнута поверхня ізолятора. Опукла поверхня, внаслідок тісного контакту з формою, приймає форму її порожнини. В цілому ізолятор приймає форму зазору, що утворюється між стінками порожнини гіпсової форми і робочою кромкою шаблону.

До вибірці сформованих опорно-штирьових ізоляторів з гіпсових форм приступають після часткової підсушування виробів і відставання їх від форм. Підв'ялка відформованої напівфабрикату проводиться в конвеєрних сушилах до залишкової вологості 17,5–18,5 % (для цього застосовують гаряче повітря із зони охолодження тунельних печей).

Вибірку напівфабрикатів роблять у такий спосіб: на увігнуту поверхню ребра ізолятора укладають гіпсовий гурток, потім форму, покриту гуртком, перекидають; при цьому ізолятор виявляється вартим на гуртку ребрами вниз.

Великогабаритні вироби формують методом склеювання. Для цього в гіпсові форми закладається ПКМ, з неї формують кільця і їх склеюють рідиною з ПКМ.

Облицювання ребристих ізоляторів. Вироби, сформовані з пластичної маси або відлиті з шлікеру, в процесі сушіння завжди мають значні відхилення від заданих розмірів внаслідок великої недостатньо рівномірної усадки. Електротехнічний фарфор повинен відповідати розмірам металевих деталей

армування і апаратури. Ребристі ізолятори, що мають форму тіл обертання, виготовляють методом обточування підв'ялених циліндричних заготовок, вже дали деяку усадку. Тому при подальшій тепловій обробці вироби дають меншу усадку і, отже, менші відхилення від заданих розмірів. Обточуванням пров'ялених болванок з вологістю 14–18 % виготовляють прохідні, опорні і апаратні порцелянові ізолятори. Обточують ізолятори на спеціальних напівавтоматах, а також на звичайних токарних верстатах за допомогою набору сталевих різців і гребінок, конфігурація ріжучої кромки яких відповідає профілю ізолятора. Порожні ізолятори при обточуванні насаджують на качалку, а суцільні затискають між рифленими наконечниками двох обертових шпинделів верстата.

Процес обточування на верстатах за способом Б. Ф. Першина спрощується в порівнянні з обточуванням на простих верстатах, де подача окремих різців регулюється вручну і вимагає від майстра великої навички. Пристрій складається з центрального вала, що встановлюється замість супорта токарного верстата паралельно його осі.

Обрізка готових ізоляторів на верстаті СОІ-2 виконується алмазними дисками при подачі мастильно-охолоджувальної рідини.

Пресування ізоляторів з порошкоподібної маси. Установчий низьковольтний електротехнічний фарфор, до якого пред'являються строгі вимоги щодо точності розмірів, і інші вироби, що мають досить складну форму, виготовляють методом напівсухого пресування. Прес-форми виготовляють зі спеціальної зносостійкої сталі. Штамповані вироби зазвичай мають недостатньо однорідну текстуру, але, тим не менше, задовольняють відносно невисоким вимогам, що пред'являються до низьковольтних настановних ізоляторів для внутрішніх мереж.

Для отримання необхідної сполучною здібності порцелянової є і відділення відпресованих виробів від прес-форми в масу вводять, крім води, так звані «жирні добавки» – суміш гасу, дьогтю, смоли, скипидару. Вологість порошку в залежності від складу маси, а також від форми виробів і пресового тиску зазвичай коливається в межах 14–18 %. Рівномірне зволоження порошку і

розподіл в ньому жирних добавок забезпечується ретельним розмішуванням маси в бігункових змішувачах з подальшим розбиванням утворюються грудок в спеціальних молоткових млинах або дезинтеграторах. Жирні добавки, видавлюються з порошку при пресуванні, утворюють на поверхні прес-форми плівку мастила, що забезпечує видалення виробу з прес-форми без труднощів.

У виробництві електропорцеляни формування виробів методом відливання не набуло широкого поширення.

Сушка ізоляторів. Крім товщини виробів, при сушінні має значення їх форма, в даному випадку – питома поверхня або відношення поверхні до ваги, що висушується виробу. Частини виробу з ребристою поверхнею сушаться швидше, ніж масивні частини з меншою поверхнею випаровування. Якщо напруги, що виникають в ізоляторі, перевищать міцність маси в цей період сушіння, то у виробках утворюються тріщини.

Небезпека розтріскування масивних виробів при нерівномірному зсіданні в початковий період сушіння або при швидкому випаровуванні великих кількостей залишкової вологи під час випалу є основною причиною, яка змушує застосовувати економічно не вигідні зatoryжні режими при сушінні великих виробів гарячим повітрям або шукати інші методи сушіння.

Сушка ізоляторів струмами високої частоти (близько 10^7 Гц) відрізняється тим, що виробу висушуються без електродів, пристосованих до розмірів і форми виробів. Масивні виробу, наприклад великі ізолятори, перебуваючи в високочастотному контурі, прогриваються по всьому об'єму. При цьому завдяки швидкому прогриванню виробу по всій товщині, термін сушки скорочується в кілька разів у порівнянні з сушінням нагрітим повітрям. Внутрішні ділянки виробу зберігають в процесі сушіння вищу температуру, ніж зовнішні, так як волога швидко випаровується з поверхні виробу. Це створює сприятливі умови для виходу вологи до поверхні і обумовлює рівномірність прогриву виробу. Найбільш сприятливі результати виходять при сушінні циліндричних болванок для обточування ізоляторів, а найменш вигідні – при сушінні пустотілих виробів з різною товщиною стінок. При сушінні використовується струм промислової

частоти, сила струму 0,8–1 А, напруга 380 ± 10 В.

Електропорцеляну випалюють в печах періодичної дії і тунельних печах безперервної дії. Найчастіше застосовують електричні печі.

В круглих печах періодичної дії при використанні твердого палива ізолятори обпалюють в Капсель. Для запобігання ребристих ізоляторів великих розмірів (бушінг) від різкого дії полум'я (і від золи при твердому паливі) служать збірні шамотні кільця і кришки.

Безкапсульний завантаження вагонеток при випалюванні на природному газі дає сприятливі показники лише при використанні каркаса з тонких вогнетривких плит для укладання на них великих ізоляторів. При випалюванні дрібних виробів доцільно використовувати напіввідкриті Капсель. При комбінованій завантаженні пічних вагонеток Капсель з ізоляторами встановлюють з боків вагонетки, а в середній частині вагонетки влаштовують етажерку з вогнетривких плит.

У шихтовий складу білої глазури входять: польовий шпат, кварцовий пісок, бій, млинові добавки: глина і каолін. Для коричневих глазури в шихтовий склад вводять додатково доломіт, марганцеву і хромову руду. Тривалість помелу глазурної шихти становить 18–20 год на 3000 кг, залишок на ситі – 0056 повинен складати не більше 0,03–0,05 %.

Глазур визначає величину поверхневого опору ізолятора. У білих і кольорових глазури ця величина (R_s) [Ом] приблизно однакова.

Колір глазури ізолятора має непрямий вплив на перекриття ізоляторів. У ранкові години на лініях з підвісними ізоляторами випадає роса. Встановлено, що на цей годинник припадає найбільша кількість виходять з ладу ізоляторів. У меншій мірі аварій піддаються пофарбовані ізолятори. Глазури, пофарбовані в темний колір, швидше нагріваються променями сонця і звільняються від роси, що веде до збільшення поверхневого опору ізолятора і ліквідації розрядів. Після политого випалу виробляють армування виробів. Матеріал арматури – сталь, сірий або ковкий чавун. Арматура – для закріплення ізолятора в електричних пристроях.

Стадії армування: механічна підготовка арматури, приготування армуючого складу (портландцемент, сірчаний цемент), збірка ізолятора, заповнення швів армуючим складом, фіксація, пропарювання для збільшення міцності шва, нанесення захисного покриття і консервація. Технічні вимоги до електротехнічної порцеляни наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні вимоги до електротехнічної порцеляни

Властивості	Величина
Межа міцності на рзтягнення, не менше МПа	
глазурована	30
неглазурована	35
Межа міцності на статичний вигин, не менше МПа	
глазурована	60
неглазурована	70
Межа міцності на ударний вигин, кДж/см ²	1,8
Межа міцності на стиснення, не менше МПа	450
Стійкість до термоудару не менше, °С	
глазурована	160
неглазурована	170
Водопоглинання, %	0
Питомий об'ємний опір при постійному струмі Ом · см, не менше при температурі:	
20 °С	10 ¹²
200 °С	10 ⁸
Електрична міцність при змінному струмі частоти 50 Гц, кВ мм не менше	30
Тангенс кута діелектричних втрат при змінному струмі при частоті 50 Гц не менше	
високовольтна	0,03
низьковольтна	0,025
Діелектрична проникність при змінному струмі при частоті 50 Гц не менше	5 – 7
ТКЛР в діапазоні температур 20–100 °С, К ⁻¹	3,5–5,5·10 ⁻⁶

Для виробництва ізоляторів використовують порцелянову масу, що відповідає вимогам першої групи порцеляни.

Визначення напружень готових виробів:

- 1) витримувана напруга в сухому стані і під дощем (на різних заводах різні установки), [кВ];
- 2) пробивна напруга;
- 3) витримувана імпульсна напруга;
- 4) довжина шляху витoku струму, мм (не менше 265 для ШФ–10);
- 5) нормована механічна руйнівна сила при вигині або розтягуванні, не менше 130 кН.

1.2 Експериментальна частина

Вихідні речовини:

Польовий шпат (ПШ) або пегматит, кварцові відходи збагачення первинних каолінів, кварц, каолін і вогнетривкі глини, доломіт, фарфоровий бій.

Матеріали та обладнання

Матеріали: пробірки, порцелянова ступка, шпатель.

Обладнання, що використовується: ваги електронні аналітичні AS 220 R2; шафа сушильна СП-50С; УЗ установка ІЛ 100-65; високотемпературна піч Електропіч SNOL 31100; мікротвердомір ПМТ-3.

1.2.1 Виготовлення керамічних зразків з електричними функціями

Керамічна маса для виготовлення ізоляторів має наступний шихтовий склад: глина Дружківська – 16 %, каолін – 34 %, пегматит – 30 %, кварцові відходи збагачення первинних каолінів – 17 %, фарфоровий бій – 3 %. Вироби обов'язково покриватимуться прозорою поливою. Зразки отримують методом екструзії (вологість маси 12 %). Сушіння зразків проводять при температурі 80–120 °С протягом 6-10 годин. Випал виробів здійснюють за розрахованим температурно-часовим режимом при максимальній температурі випалу 1350 ± 10 °С, з максимальною витримкою протягом 3 годин.

1.2.2 Дослідження властивостей електротехнічної кераміки

Для випалених зразків проводять дослідження основних експлуатаційних властивостей. *Визначення міцності на стиск* засноване на визначенні сили, при якій настає руйнування зразка під час стиснення зразку статичним навантаженням (рис. 4).

Дослідження виконують на випробувальній машині, що забезпечує вимірювання навантаження з точністю до 1 %.

Для випробування на стиск беруть зразки, що мають форму куба. При товщині майбутніх виробів від 30 мм до 100 мм ребро зразка (куба) має дорівнювати їй.

Поверхня зразків повинна бути вільною від тріщин, вм'ятин, відколів, які виявляються візуально. У кожного зі зразків шліфують по дві паралельні площини і обчислюють площу поперечного перерізу з точністю до $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

Дослідний зразок шліфованою стороною розміщують на нижній опорі гідравлічного пресу таким чином, щоб він щільно прилягав до неї гранню, на яку буде передаватися навантаження. Кожне випробування проводять з постійною швидкістю навантаження зразка в межах $(1,0-1,5) \cdot 10^3 \text{ Н/хв}$. За шкалою приладу фіксують величину сили, при якій сталося руйнування зразка.

За остаточний результат приймають середнє арифметичне значення результатів трьох випробувань, максимальна розбіжність між якими не перевищує 15 %.

Межа міцності матеріалу за стиск розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{P}{a^2},$$

де P – навантаження руйнування зразку, Н;

a – довжина ребра зразку, м.

Визначення водопоглинання дослідних зразків. Метод заснований на визначенні відношення маси води, що була поглинена зразком, до маси сухого зразка. Дослідні зразки виготовляють у вигляді кубиків з розміром ребер в межах 50–75 мм. Поверхня зразків не повинна містити тріщин, впадин, сколів чи

виступів, які будуть визначатися візуально. Перед початком досліджень зразки поверхню зразків очищують від пилу та дрібних уламків за допомогою жорсткої щітки, після чого зразки висушують у сушильній шафі, при температурі вище 105 °С, до постійної маси, охолоджують у ексикаторі, для запобігання поглинання зразком вологи з повітря, та зважують.

Насичення зразків водою проводили за методом кип'ятіння зразків у дистильованій воді впродовж однієї години. Підготований зразок розміщують у скляні колбі з дистильованою водою та нагрівають на піщаній бані. Початком дослідження, тобто початком відліку часу, вважається момент закипання води. Після експерименту зразок охолоджують в холодній проточній воді, після чого, з його поверхні, за допомогою фільтрувального паперу, видаляють зайву воду та зважують зразок.

Водопоглинання зразків розраховується за формулою:

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100 \%,$$

де m_1 та m – маси зразку після та до кип'ятіння відповідно, г.

Визначення електричної міцності зразків було проведено для оцінки їх придатності для виробництва електроізоляційних, діелектричних або дугостійких деталей техніки та обладнання.

Підготовка до дослідження

Випробування проводять за ГОСТ 24409–80 в електроізоляційній температурі температури від 15 °С до 35 °С. Температура повинна бути змінена в безпосередній близькості від місць розташування зразків. Для випробування використовують зразки у вигляді дисків із напівсферичним верхнім електродом (рис. 1). На краях електродів не має бути пухирців повітря.

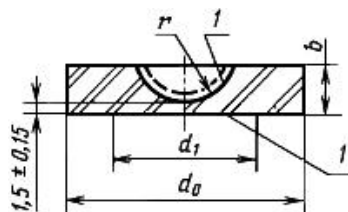


Рисунок 1 – Зразок для визначення електричної міцності

Розміри зразків треба вибирати у відповідності з таблицею 2.

Таблиця 2 – Розміри зразків

d_0 , мм		d_1 , мм		b , мм		r , мм	
Номін.	Гран відх.	Номін.	Гран відх.	Номін.	Гран відх.	Номін.	Гран відх.
25	±1	20	±1	4	±1	5,0	±0,5
80		50		9		10,0	

Апаратура та матеріали

Похибка вимірювання не повинна перевищує 3 % вимірювання значень. Товщина зразку у самому тонкому місці повинна бути виміряна з похибкою не більш 0,01 мм. У якості матеріалів електродів можуть використовувати колоїдний графіт, сріблясті покриття, нанесенні методи випалювання, або срібло, мідь, алюміній, нанесенні розпилення металу в вакуумі. Повинен забезпечуватися високий контакт між електричними і дослідними зразками. Матеріали електродів не повинні змінювати властивості зразків. Допоміжні електроди повинні бути викладені з латуні або нержавіючої сталі.

Проведення випробування

Визначення електричної міцності проводять по ГОСТ 6433.3–71.

Напруга, що дорівнює половині передбачуваної пробивної напруги, підвищують швидко; далі визначення електричної міцності проводять при плавному підйомі напруги з такою швидкістю, щоб пробою відбувався протягом 10–20 с від початку підйому напруги.

Для усунення поверхневих розрядів, що виникають при випробуванні зразків на повітрі, вимірювання електричної міцності слід проводити в електроізоляційній рідині або трансформаторному маслі. Питомий опір електроізоляційної рідини має бути не менше 10^8 Ом · м, електрична міцність трансформаторного масла – не нижче 35 кВ.

Обробка результатів

Електричну міцність ($E_{\text{пр}}$), кВ · мм⁻¹, обчислюють за формулою

$$E_{\text{пр}} = k \cdot U_p,$$

де U_p – діюче значення пробивної напруги зразка, кВ;

k – поправочний коефіцієнт, мм⁻¹.

За результат випробувань приймають вибіркоче середнє значення не менше шести випробувань з округленням до 1 кВ · мм⁻¹. Визначення питомого об'ємного опору проводять по ГОСТ 6433.2–71 при напрузі 100, 500 або 1 000 В. Метод полягає у вимірюванні струму, що протікає за обсягом або по поверхні керамічного зразка заданої форми і розмірів, з нанесеною системою електродів при постійній напрузі встановленого значення.

Відношення прикладеної напруги до величини струму, що протікає через зразок, визначає об'ємний опір, відношення прикладеної напруги до величини струму, що протікає по поверхні зразка, – поверхневий опір.

Питомий об'ємний опір (ρ_v), Ом · см, обчислюють за формулою

$$\rho_v = \frac{\pi(d_2 + q)^2}{4t} \cdot R_v,$$

де R_v – виміряний опір, Ом;

t – товщина зразка, см;

d_2 – діаметр вимірювального електрода, см;

q – ширина охоронного паска, см.

За результат випробувань приймають вибіркоче середнє значення не менше трьох потенційованих середніх десяткових логарифмів.

1.3 Оформлення результатів роботи

1. Навести види ізоляторів, що використовуються.
2. Навести основні вимоги до сировинних матеріалів для електропорцеляни.
3. Навести принцип складання порцелянової маси.
4. Привести основні технологічні етапи виготовлення керамічних ізоляторів.

Лабораторна робота № 2

ТЕХНОЛОГІЯ КЕРАМІКИ З МЕДИЧНИМИ ФУНКЦІЯМИ

Мета роботи – синтезувати стоматологічну металокераміку, розробити технологічні параметри синтезу та дослідити її властивості.

2.1 Загальні положення

В стоматологічній практиці при зубопротезуванні широко поширене застосування металокераміки. Цей матеріал поєднує в собі технологічність металу з біологічною безпекою та естетикою керамічного покриття. Найчастіше застосовуються склокерамічні покриття, виготовлені на основі польвошпатового скла. Основною кристалічною фазою, що виділяється при кристалізації таких стекол, є лейцит KAlSi_2O_6 . Лейцитове скло має низьку температуру плавлення, значну в'язкість розплаву, що зменшує ймовірність деформації виробів і відповідає необхідним декоративним якостям. Не дивлячись на безперечні переваги цього матеріалу, він часто не відповідає необхідним механічним властивостям (насамперед, мікротвердістю) натуральним зубам. Необхідно так само підвищити термостійкість лейцитової склокераміки і звести до мінімуму ризик утворення тріщин склокерамічного покриття як при його виготовленні (так як технологія виробництва металокерамічного протеза включає в себе неодноразовий нагрів), так і при експлуатації. Актуальною є заміна традиційно використовуваних у виробництві стоматологічного покриття потенційно небезпечних компонентів, зокрема, оксиду олова на гідроксиапатит (ГАП) – матеріал, що є основною мінеральною складовою кісток і тому абсолютно біологічно сумісний. При цьому важливо враховувати, що будь-яка зміна складу шихти може несприятливо позначитися на адгезійній міцності готових покриттів та на їх хімічній стійкості. Таким чином, отримання невартісного, естетично привабливого матеріалу, що поєднує в собі скляну матрицю, яка забезпечує необхідну міцність виробу і апатитового

наповнювача, що характеризується біосумісністю і забезпечує металокерамічним протезам фізичні та механічні властивості, які є наближеними до властивостей натуральних зубів.

Довговічність збереження естетичних властивостей протеза залежить від надійності сполучення покриття з металевим каркасом і властивостями матеріалу стоматологічного покриття зберігати первісний колір і основні фізико-хімічні властивості при функціонуванні в умовах порожнини рота. Виходячи з цих визначальних положень можна перерахувати наступні основні вимоги до матеріалів для облицювання:

- відсутність токсичності;
- наявність комплексу фізико-механічних показників (міцність при вигині, стисненні, ударі, стійкість до стирання тощо);
- здатність до забарвлення в кольори, які імітують забарвлення твердих тканин зуба;
- міцність адгезійного сполучення з металом каркаса протеза;
- здатність зберігати адгезійну міцність за високої вологості, температурних коливаннях і жувальних навантаженнях;
- забезпечення оптимальних естетичних властивостей конструкції;
- коефіцієнти температурного коефіцієнту термічного розширення металу і облицювального матеріалу повинні бути близькі один до одного;
- простота приготування, нанесення і випалу маси;
- наявність великого робочого інтервалу використання (можливість використовувати масу через кілька годин після її приготування).

Висока твердість і зносостійкість, унікальна водостійкість і високі естетичні властивості дозволяють вважати кераміку оптимальним облицювальним матеріалом.

Практично створення стоматологічної маси для металокераміки містить в собі розробку щонайменше трьох мас (грунтової, дентинової і емалевої), кожна із яких має свої особливості у складі і технології.

Температура випалу поширених стоматологічних мас для металокераміки не повинна перевищувати 980 °С. Вона значно нижче точки плавлення застосовуваних сплавів (1 100–1 300) °С.

Стоматологічні покриття виконуються багатошаровими і складаються з наступних компонентів:

1. Непрозора ґрунтова маса (товщиною 0,2–0,3 мм), яка маскує металевий каркас і забезпечує міцний зв'язок покриття з поверхнею сплаву (для підвищення міцності зчеплення і знепрозорення в ґрунтову масу вводять ряд добавок). Ця маса має флуоресцентний ефект і може бути стандартно або інтенсивно забарвлена.

2. Напівпрозорий дентиновий шар (товщиною 0,65–0,80 мм). Це основний, самий масивний шар коронки, він визначає форму готової конструкції.

3. Прозорий емалевий шар, імітує ріжучий край зуба з ефектом люмінесценції.

Люмінесценція – світіння речовини під дією падаючого світла, причому спектральний склад випромінюваного світла відрізняється від спектрального складу світла, що викликав світіння. Люмінесценція – процес, зворотній поглинанню. Якщо при поглинанні кванта $h\nu$ відбувається збудження електронів, що супроводжується їх переходом на енергетично більш високі рівні, то люмінесценція зумовлена зворотнім переходом електронів із збудженого стану в початкове з випусканням кванта $h\nu_2$. У сучасних стоматологічних матеріалів, крім того, включаються так звані крайові або плечові маси для формування краю коронки. Технічні вимоги керамічного матеріалу стоматологічної металокераміки для зубного протезування представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Технічні вимоги керамічного матеріалу стоматологічної металокераміки для зубного протезування

Показник	Тип кераміки		
	Ґрунт	Дентин	Емаль
Опір забарвленню, число плям на зразку при витримці його в забарвленому розчині	0		
Пористість, число пор	Не більше 16, діаметром більше 30мкм на поверхні 1 мм ²		
Температурний коефіцієнт лінійного розширення ТКЛР, 1/К	Значення ТКЛР повинно відповідати значенню, заданому виробником або ТКЛР використовуваного сплаву (120–150·10 ⁻⁷) град ⁻¹	Значення ТКЛР дентину не повинно відрізнятися від значення ТКЛР ґрунтового шару кераміки у виробі більше чим на (10·10 ⁻⁷) град ⁻¹	Значення ТКЛР емальованого прозорого шару кераміки не повинно відрізнятися від значення ТКЛР інших шарів кераміки більше чим на (10·10 ⁻⁷) град ⁻¹
Міцність при вигині, МПа	>50		
Технологічність	Паста повинна бути доведена до потрібної консистенції дистильованою водою, при цьому не повинно утворюватися грудок. Надлишки вологи повинен бути видалений при конденсації. Зразок керамічного матеріалу повинен добре утримувати форму		
Хімічна розчинність, %	<0,5		

2.3 Експериментальна частина

Вихідні речовини:

Калієвий польовий шпат (КПШ) поташ, оксид, карбонат барію, фторид натрію, фторид літію, глинозем, борна кислота.

Матеріали та обладнання

Матеріали: пробірки, порцелянова ступка, шпатель.

Обладнання, що використовується:

- ваги електронні аналітичні AS 220 R2;
- шафа сушильна СП-50С;
- УЗ установка ІЛ 100-65;
- високотемпературна піч Електропіч SNOL 31100;
- дифрактометр ДРОН-3М,
- скануючий електронний мікроскоп РЕМ *Tescan Mira 3LMU*;
- мікротвердомір ПМТ-3.

2.2.1 Синтез стекел та композицій на їх основі

Синтез стекел здійснюють на основі полевошпатового скла. Склади стекел відрізняються зниженим, порівняно з традиційно застосовуваними стоматологічними масами, вмістом оксиду кремнію. Це гарантує зниження кількості кристобаліта, утвореного в результаті розкладання ортоклаза, що, в свою чергу, зменшує ризик утворення відколів покриття при охолодженні металокерамічної композиції. Висока в'язкість забезпечує формостійкість розплаву а також, бажану форму виробу. Однак для надання покриттю більшої механічної міцності і відповідних оптичних характеристик необхідно ввести до складу шихти нуклеатори кристалізації і дещо зменшити в'язкість розплаву. Тому пропонується замінити частину склоутворюючого оксиду кремнію більш легкоплавкими і змінити масове співвідношення Na^+/K^+ у бік збільшення. При цьому прогнозується підвищити рухливість розплаву і, відповідно, забезпечити більш сприятливі умови для виділення кристалічних фаз.

Заміна частини калієвого лужного компонента натрієвим і літєвим, а частини склоутворювача – оксидом бору приведе до зниження температури плавлення шихти до (1 150–1 200) °С.

Присутність лейциту в стоматологічній кераміці обумовлено використанням як вихідного компонента калієвого польового шпату. Лейцит в складі утворюється при термічному розкладанні калієвого польового шпату, температура плавлення якого складає 1 170 °С, за реакцією 1:



Подальша кристалізація лейциту відбувається при його термообробці на металевому каркасі і вже при 690 °С, відбувається значний приріст даної кристалічної фази. В якості нуклеаторів використовували оксид цинку і солі фтору. Хімічний склад скла для виготовлення стоматологічного склокристалічного матеріалу наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Хімічні склади стекел для виготовлення стоматологічного склокристалічного матеріалу

Склади стекел	Вміст компонентів, мас. %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	BaO	SrO	B ₂ O ₃	ZnO
Склад скла С2	51,25	14,87	6,77	11,86	6,03	0,10	0,10	0,02	4,00	0	4,00	1,00

Розрахунок шихти для виготовлення 100 г скла проводиться за допомогою програми Mathcad 14 і складає мас. % : поташ – 5,08; оксид цинка – 1,00; карбонат барію – 5,15; калієвий польовий шпат (КПШ) – 74,85; фторид натрію – 6,16; фторид літію – 10,36; глинозем – 1,41; борна кислота – 7,09.

Розробка стоматологічних матеріалів, які близькі за своїм складом і механічними властивостями до твердих тканин природних зубів, здійснюється шляхом отримання склокристалічних композицій гідроксиапатит – флюорит – розплав скла та воластоніт – розплав скла. Для дослідження процесу плавлення композицій було запропоновано склади (табл. 5), які відрізняються вмістом

наповнювачів. Склади C2G та C2V сплавлялися в корундових тиглях в електричній печі з силтовими нагрівачами при температурах (1 150–1 170) °С на повітрі, з подальшим охолодженням у воді.

Таблиця 5 – Склади та характеристики композицій

Маркування склокристалічної композиції	Вміст, в мас. %			Т варки фрити, °С	Естетичний вигляд зразків фрити після термообробки
	ГАП(90) + CaF ₂ (10)	Воластоніт	Скло		
C2G	10	–	90	1 150	Напівпрозоре блідо-блакитне, з опаловим ефектом
C2V	–	10	90	1 170	Прозоре блідо-блакитне скло

При охолодженні розплаву в інтервалі температур (1 100–1200) °С починається кристалізація лейцити у всьому об'ємі розплаву, що є наслідком гомогенної нуклеації. При введенні ГАП та воластоніту в склади композиції відбувається часткове його розчинення в склофазі, що веде до збільшення вмісту кальцію в склі і сприяє підвищенню ТКЛР.

2.2.2 Дослідження структури та властивостей стоматологічної кераміки

Для дослідження властивостей синтезованих нанокристалічних порошків застосовувалися такі методи, як: диференційно–термічний аналіз (ДТА), рентгенофазового аналіз (РФА), скануюча електронна мікроскопія (SEM),

Диференційно-термічний аналіз.

Термогравіметричні дослідження здійснювали на дериватографі Q-1500Д системи *Paulik-Paulik-Erday*. Режим знімання: DTG 1/5, ДТА 1/5, TG 500, маса 0,85 г, кварцовий тигель, швидкість підняття температури 10°/ хв, напруга 87 Вт, $V_{бар.}/ V_{шт.} = 100/100$, V позиція штифта.

За даними ДТА для стекол початок першого ендоефекту, який характеризує перехід із твердого в пластичний стан і визначається як температура трансформації $T_g = 470$ °С та 460 °С для стекол C2G та C2V

відповідно (рис. 2, 3). Нижня точка ендоефекту, яка є близькою до температури розм'якшення скла $T_f = 540$ °С.

Термограми стекел С2G та С2V (далі склокерамічний матеріал – СКМ) характеризуються значною величиною окресленої площі ендотермічного ефекту, яка передує першому екзотермічному ефекту кристалізації і визначається значною кількістю утворених кристалічних зародків при T_f , що свідчить про інтенсивне зародкоутворення для СКМ вище області розм'якшення. Близькість першого екзотермічного ефекту до ендотермічного свідчить про проходження кристалізації при високій його в'язкості, поблизу температури розм'якшення, та дозволяє припустити, що ситалізація скла проходить без його деформації. Для СКМ спостерігається чітко виражений пік екзоефекту при температурах 680 °С та 690 °С, що свідчать про значну швидкість кристалізації, результатом якої є утворення високої кількості невеликих кристалів лейциту.

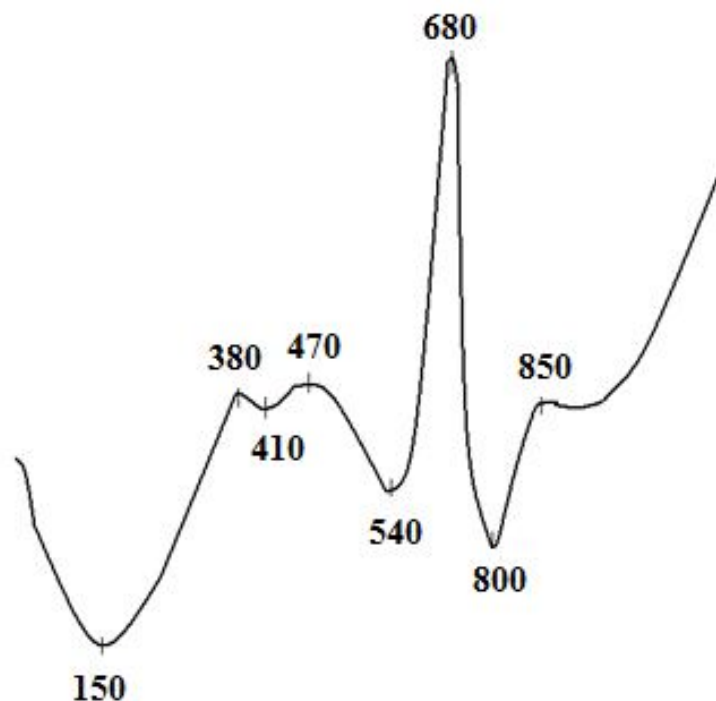


Рисунок 2 – Термограма композиційного склокристалічного матеріалу С2

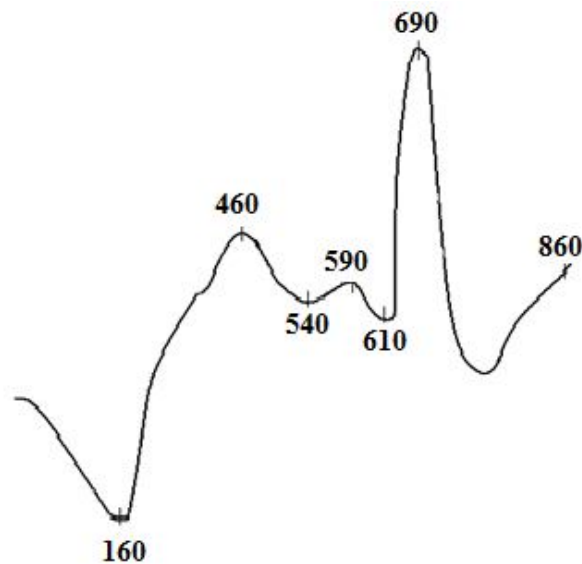


Рисунок 3 – Термограма композиційного склокристалічного матеріалу C2V

Отже, ріст кристалічних фаз лейциту відбувається при термообробці покриття в області температур (680–690) °С, ГАП – (720–740) °С, воластоніту – (800–900) °С .

Рентгенофазовий аналіз.

Рентгенофазовий аналіз (РФА) зразків був проведений за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-3М. Режим знімання: Cr K_α – випромінювання, V – фільтр, напруга на трубці 35 кВ, анодний струм 20 мА, швидкість обертання лічильника 1°/хв

Після термообробки дослідні матеріали характеризуються значним вмістом кристалічної фази лейциту, які підтверджуються дифрактограмами СКМ C2G та C2V представленими на рисунках 4, 5. Інтенсивність рефлексів лейциту, яка зафіксована в зразках на основі КПШ з добавками оксидів цинку, барію, значно підвищує схильність стекол до кристалізації та забезпечує виділення лейциту при термообробці. Температура ліквідусу розплаву – 1200 °С. Після визначення температури ліквідусу задавалися різні величини переохолодження та досліджувалися отримані проби розплаву. Це виражається в рівномірному розподілі чистих ідіоморфних кристалів лейциту розміром 1–3 мкм в розплаві.

Найвищим вмістом кристалічної фази лейциту характеризується композиція С2V, які вміщують у складі композиції воластоніт, який можливо, є ініціатором кристалізації лейциту. Для композицій з вмістом ГАП кристалізація лейциту зменшується.

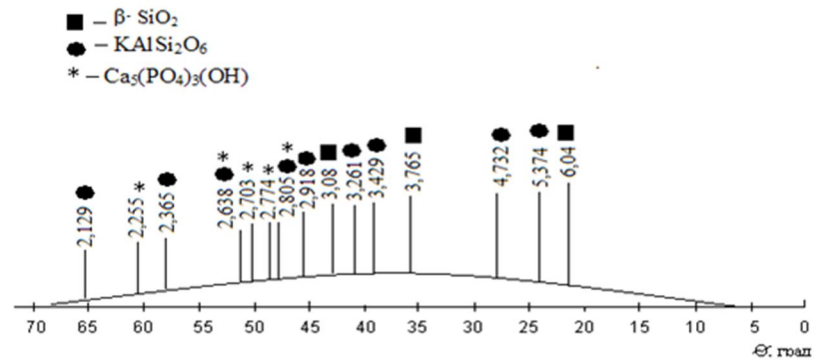


Рисунок 4 – Дифрактограма склокристалічного матеріалу на основі складу С2G

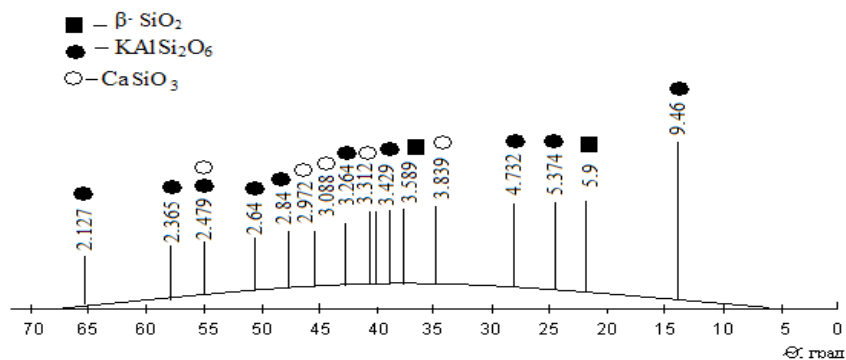


Рисунок 5 – Дифрактограма склокристалічного матеріалу на основі складу С2V

Скануюча електронна мікроскопія

СЕМ зразків проводили на приладі РЕММА -101.

Для СКМ С2G дрібні кристали (менше 1 мкм,) та їх рівномірний розподіл в склофазі, надає готовому матеріалу опаловий ефект, властивий натуральним зубам (рис. 6)

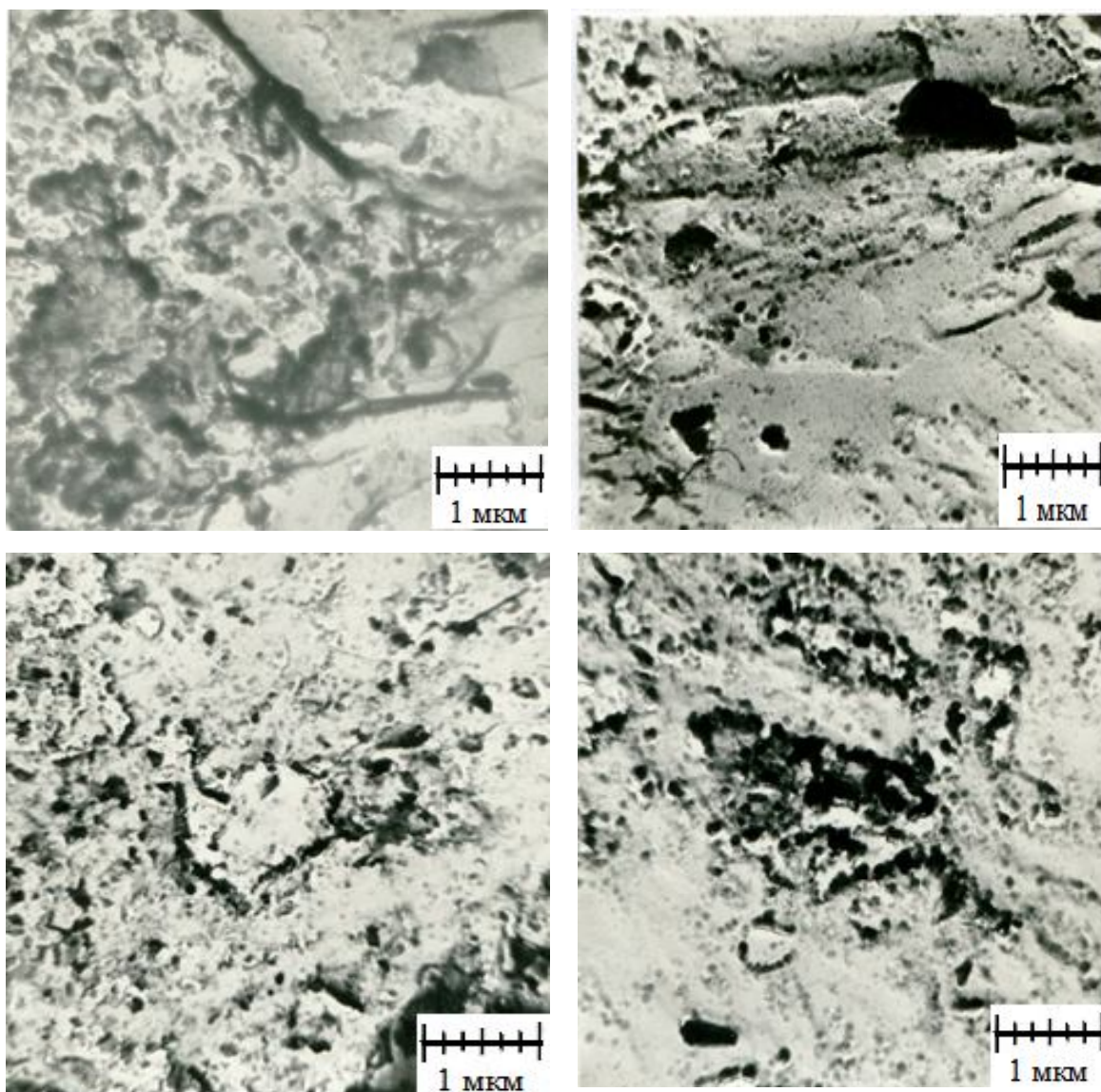


Рисунок 6 – Мікрофотографії зразка C2G на основі лейцитового скла (90 % мас. ч.) та гідроксиапатиту (10 % мас. ч.)

З метою ідентифікації структури стекол на початкових етапах зародкоутворення були обрані ділянки скла вільні від кристалізації, оскільки рельєф закристалізованих ділянок може бути настільки незначним, що ускладнить розпізнавання процесу незмішування, який, можливо, протікав раніше.

Кристали лейциту у вигляді глобул, рівномірно і у великій кількості розподілені в скляній матриці, перешкоджають поширенню тріщини і тим самим

підвищують міцність склокристалічного матеріалу. Крім того, кристали лейциту на відміну від муліту (кристалічної фази побутового фарфору) є прозорими.

Голчата структура воластоніту дозволяє стабілізувати маси (рис. 7), сприяє зменшенню зсідуючих явищ в свіжосформованих зразках, активує процеси кристалізації новоутворень, що мають, в основному воластонітоподібну структуру, підвищує атмосферно – і водостійкість стоматологічних виробів при одночасному загальному зниженні вилуговування гідроксиду кальцію.

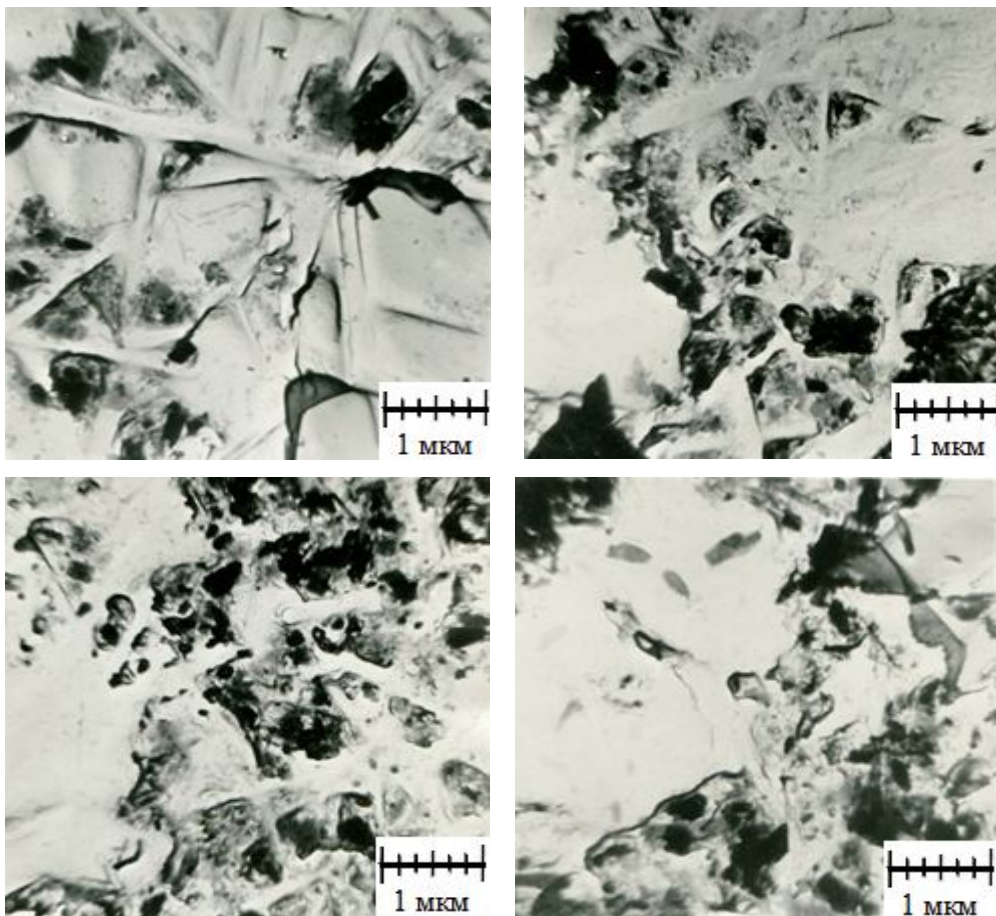


Рисунок 7 – Мікрофотографії зразка С2V на основі лейцитового скла (90 % мас. ч.) та воластоніту (10 % мас. ч.)

2.2.3 Підготовка металевої поверхні перед нанесенням склокристалічного покриття

Піскоструминна обробка перед нанесенням ґрунтового шару склокристалічного покриття, повинна відповідати таким вимогам:

- оптимальна величина зерна піску 110–125 мкм;
- максимальний тиск з пістолету 0,2 МПа;
- напрямок потоку піску повинен бути під прямим кутом до поверхні.

Після обробки необхідно залишити оброблений об'єкт на 5–10 хв. для пасивування, після чого провести чистку поверхні паром.

Після струменевої обробки каркас необхідно очистити в дистильованій воді. Для цих цілей можна використовувати очищення в ультразвуковій ванні.

Покриття металевого каркаса склокристалічною масою проводять в певній технологічній послідовності. Для кожного шару виготовляють водні або спиртові суспензії. Спочатку на металеву підкладку наносять ґрунтовий шар і випалюють при температурах (950–960) °С. Потім наносять другий (дентиновий) шар і коронку випалюють при температурі меншій ніж температура випалу ґрунтового шару, при (920–940) °С. Випал емалевого шару ведуть при ще більш низькій температурі. Принципова технологічна схема виробництва композиційних склокристалічних покриттів по Со – Cr – Мо сплавах для стоматології представлена у додатку А.

Випал шарів склокристалічної маси, що наноситься на метал, може проводитись у різних печах, з горизонтальним або вертикальним муфелем – в суворій відповідності до рекомендацій виробника мас. В нашому випадку маси наносилися у вакуумній печі фірми Programat P95 (Німеччина). Однак слід пам'ятати, що для вакуумної печі істотним параметром (критерієм) є показник підйому температури робочої камери – градусів на хвилину. На рисунку 8 представлена крива випалу.

Міцносні показники металокерамічних конструкцій умовно можна визначити як сумарний критерій фізико-механічних показників

використовуваних сплавів, міцності склокристалічного покриття і механічного сполучення сплаву і маси.

Важливу роль у надійному поєднанні покриття зі сплавом відіграє дисперсність керамічних мас. Тому підбір правильного співвідношення дрібної 1–5 мкм та крупної 30–40 мкм фракцій дозволяє значно збільшити зчеплення покриття з металом.

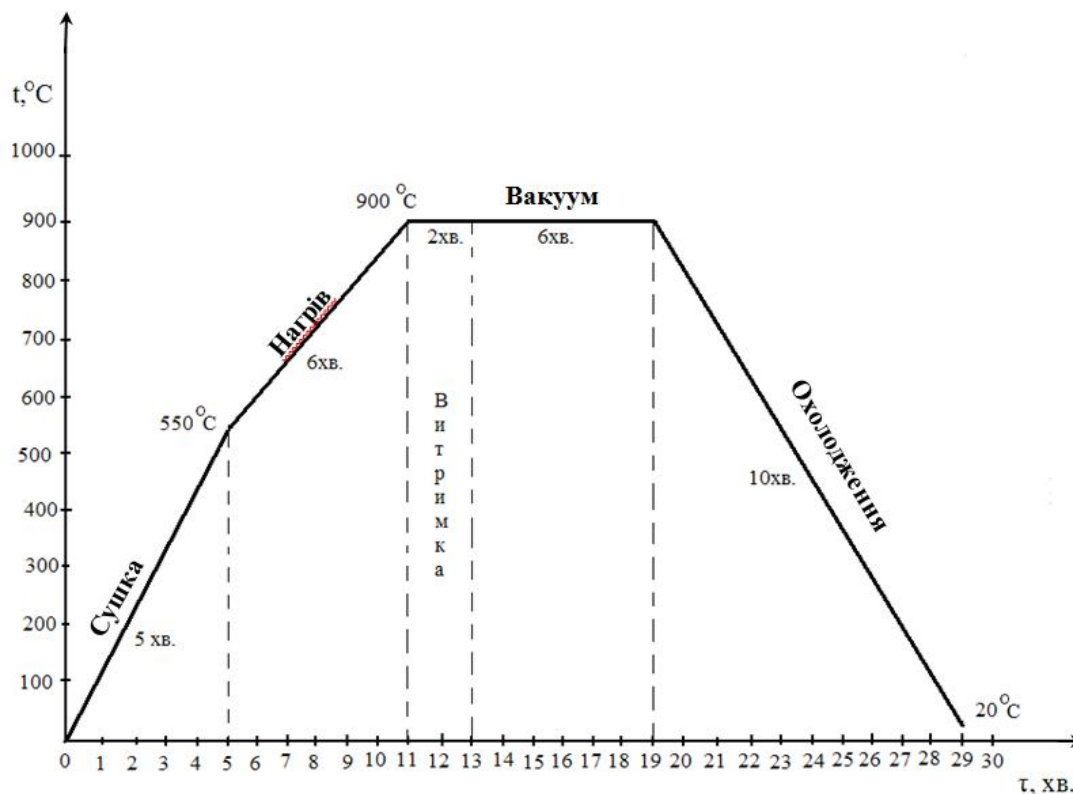


Рисунок 8 – Режим випалу дентинового шару Smile (Україна)

Міцність сполучення металу з покриттям залежить і від структури покриття, що складається з двох фаз: аморфної, якою є скло, і кристалічної, яка представлена переважно з фаз лейциту, ГАП та воластоніту. Термічний коефіцієнт лінійного розширення скла дорівнює $90 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, а лейциту – $200 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Змінюючи співвідношення скла і лейциту, можна отримати необхідний коефіцієнт лінійного розширення склокристалічного матеріалу.

Термічний коефіцієнт лінійного розширення скла має завжди дещо нижчий показник, чим у сплавів металів. У результаті цього покриття зазнає напруження

стиснення. ТКЛР наявних на ринку металевих сплавів в залежності від їх складу становлять $(140-160) \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, при температурах $(100-600) \text{ }^\circ\text{C}$. Відмінності коефіцієнта лінійного розширення склокристалічного покриття і металу тягнуть за собою появу дефектів на зубному протезі.

За зовнішнім виглядом дефектів можна визначити причину їх утворення:

1. Якщо ТКЛР сплаву більше ТКЛР склокристалічного покриття, то при охолодженні, покриття піддається впливу стискаючих напруг, що може призвести до відколів покриття.

2. Якщо ТКЛР сплаву менше ТКЛР склокристалічного покриття, то при охолодженні виникають розтягуючі напруги, які можуть привести до розтріскування покриття.

2.2.4 Дослідження властивостей склокристалічних матеріалів для стоматології

Дослідження хімічної розчинності склокристалічних матеріалів для стоматології

Хімічна стійкість склокристалічних матеріалів, яка в стоматології характеризується зворотною величиною – хімічною розчинністю, визначалася згідно ГОСТ ISO 51736 – 2001 за втратою маси зразків, витриманих впродовж 24 години в розчині 4 % оцтової кислоти.

Випалені зразки при температурах $(850-900) \text{ }^\circ\text{C}$, поміщають в хімічний стакан. Потім зразки заливають 100 см^3 4% розчином оцтової кислоти і залишать на 24 години. Після цього зразки добре промивають в дистильованій воді, а потім висушують при $150 \text{ }^\circ\text{C}$ впродовж 4 годин. Повторно зважують на аналітичних вагах та розраховують втрати маси у відсотках за формулою 2.

$$\Delta = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100, \quad (2)$$

де Δ – втрата маси зразків, %;

M_1 – маса зразка до витримки в розчині, г;

M_2 – маса зразка до витримки в розчині, г.

Хімічна розчинність зразків не повинна перевищувати 0,5 % для ґрунтових стоматологічних покриттів та 0,05 % для всіх інших видів покриттів.

Результати розрахунків хімічної розчинності склокристалічних матеріалів наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Втрати маси дослідних складів склокристалічних матеріалів

Дослідні склади	Маса зразка до витримки в розчині М ₁ , г	Маса зразка до витримки в розчині М ₂ , г	Втрата маси зразків Δ, %
1 С2G	0,291 4	0,291 4	0
2 С2V	0,284 8	0,284 7	0,04

Таким чином, дослідні склади С2G та С2V по даним хімічної розчинності відповідають нормованим показникам в даній галузі і можуть використовуватися в якості дентину, або емалі. Всі наступні склади характеризуються більшою втратою маси і можуть використовуватися в якості ґрунту, згідно ГОСТ ISO 51736–2001.

Дослідження механічних властивостей покриттів

Кристали лейциту на відміну від склокераміки більше схильні на утворення напруг стиснення (через підвищений ТКЛР під час охолодження). З іншого боку, слід враховувати, що під час термічного стиснення відбувається перетворення кубічного лейциту в тетрагональний насичений лейцит, що призводить до зниження об'єму матеріалу на 1,2 %. У процесі цього охолодження обидві фази (кристали лейциту та скломатриці) спочатку пов'язані. При подальшому зміцненні у скломатриці утворюються дотичні компресійні напруги, а в лейциті – напруги на розтяг, що знаходяться в рівновазі один з одним.

В останній фазі стиснення відбувається утворення тріщин в лейциті, так як напруга на розтяг перевершує міцність на розрив лейциту. Паралельно йде процес часткового розчеплення скломатриці і кристалів лейциту. Початкова рівновага між компресійною напругою і напругою на стиснення порушується на

користь компресійної. Міцність на стиснення скломатриці при цьому досить висока, так що компресійна напруга на фазовій границі, як би застигає. За цією моделлю зменшується спонтанне зростання тріщин завдяки існуючим компресійним напруженням. Крім того, дисперсна структура на фазових межах веде до переломлення тріщин і, отже, до ослаблення енергії руйнування. У підсумку латентно існуючі мікротріщини із закругленими верхівками можуть запобігти або уповільнити поширення тріщин.

Мікротвердість H та твердість за Вікерсом HV визначали шляхом вдавлювання піраміди Вікерса при навантаженні на піраміду відповідно 1,961 Н за 10 вимірами та 49 Н за 5 вимірами з використанням приладу ПМТ – 3. Навантаження на індектор 200 г. Результати випробовувань склокристалічних матеріалів наведені в таблиці 7. Якщо порівнювати отримані результати мікротвердості покриттів, наприклад з покриттями фірми *Duceram Kiss* (Німеччина), то розроблені нами покриття перевищують дані показники і як наслідок являються більш міцнішими.

Таблиця 7 – Результати випробовувань мікротвердості та твердості матеріалу

Зразки	HV_{cp} , МПа	H , МПа
C2G	6 490	5 600
C2V	7 340	6 200
<i>Duceram Kiss</i>	6 000	4 300

Дослідження тріщиностійкості склокристалічних матеріалів проводилась на ПМТ – 3, на даному приборі вимірювали довжину тріщин, розрахунок коефіцієнта тріщиностійкості K_{Ic} проводився по середньому значенні довжин тріщин: C_{cp} (C2G) = 183; 196,5; 193,5; 124,5 мкм, для C_{cp} (C2V) = 240; 200,1; 192; 210 мкм, середні значення довжин тріщин приведені в таблиці 8. Навантаження на індектор 5 кг. В таблиці 8 приведені результати вимірювань та розрахунку коефіцієнта тріщиностійкості K_{Ic} .

Таблиця 8 – Результати випробовування та розрахунку коефіцієнта тріщиностійкості

Зразки	C_{cp} , мкм	$\sqrt{C^3}$	K_{Ic} , МПа · м ^{1/2}
C2G	210,5	3064	1,53
C2V	174,4	2295	2,05

На рисунку 9 представлені мікрофотографії відбитків піраміди Вікерса на СКМ C2G та C2V.

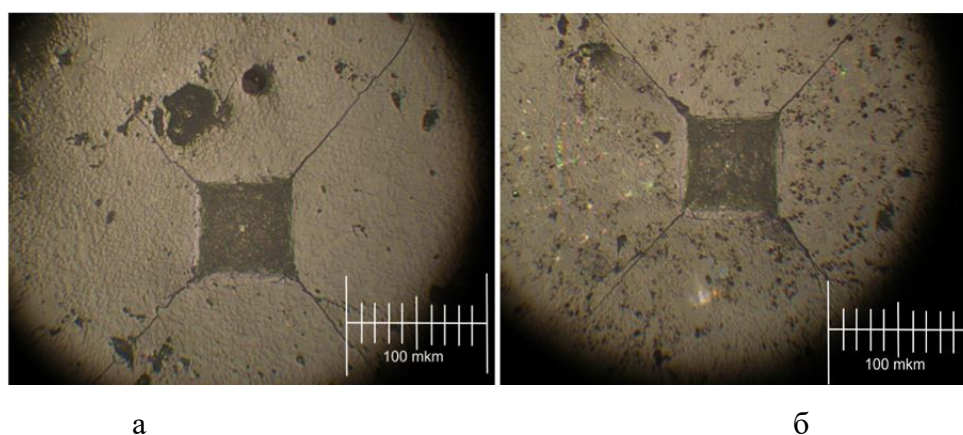


Рисунок 9 – Мікрофотографії відбитків піраміди Вікерса на зразках СКМ:

а – C2G; б – C2V

3.3 Оформлення результатів роботи

1. Охарактеризувати перспективні склади для одержання стоматологічної металокераміки.
2. Навести основні вимоги до матеріалів для облицювання металів для стоматології.
3. Навести компоненти багатшарового стоматологічного покриття.
4. Проаналізувати технічні вимоги керамічного матеріалу для стоматологічної металокераміки.
5. Описати методологію розробки керамічного матеріалу для стоматологічної металокераміки.
6. Навести склади та характеристики композицій для виготовлення стоматологічного матеріалу.

7. Проаналізувати фазові перетворення, які відбуваються при термічній обробці склокераміки на основі лейциту.

8. Навести особливості підготовка металевої поверхні перед нанесенням склокристалічного покриття для стоматології.

9. Проаналізувати особливості технології стоматологічної склокераміки на основі лейциту. Навести технологічну схему процесу.

10. Навести основні властивості склокристалічних матеріалів для стоматології та методи їх визначення.

11. Оцінити конкурентну здатність вітчизняної стоматологічної кераміки та перспективи розвитку.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Выдрик Г. А. Физико-химические основы производства и эксплуатации электрокерамики / Г. А. Выдрик, Н. С. Костюков. – М. : Энергия, 1971. – 328 с.
2. Элтон М. Керамика в восстановительной стоматологии – прошлое, настоящее и будущее / М. Элтон // Клиническая имплантология и стоматология. – 1997. – № 2. – С. 15–16.
3. Керамические и стеклокристаллические материалы для медицины / [В. И. Верещагин, Т. А. Хабас, Е. А. Кулинич, В. П. Игнатов] – Томск : Издательство ТПУ, 2008. – 151 с.
4. Carter C. B. Ceramic Materials : Science and Engineering / C. B. Carter, M. G. Norton. – New York : Springer Science, Business Media, 2007. – 716 p.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

**«ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОЇ
ТА ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ»**

*(для студентів I курсу денної форми навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія)*

Укладачі : **САВВОВА** Оксана Вікторівна,
ВОРОНОВ Геннадій Костянтинович,
ФЕСЕНКО Олексій Ігорович,
СМИРНОВА Юлія Олегівна

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *О. І. Фесенко*

План 2020, поз. 98 М.

Підп. до друку 11.03.2020. Формат 60 × 84/16.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,3.
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач :
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса : rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи :
ДК № 5328 від 11.04.2017.