

М.В. Дмитрієв, С.В. Ленков

**КОМПОЗИЦІЙНА СКЛОКЕРАМІКА – ПЕРСПЕКТИВНИЙ МАТЕРІАЛ
В АВІАЦІЙНІЙ ТЕХНІЦІ**

Виконано аналіз технічних та технологічних характеристик композиційної склокераміки як матеріалу для електроізоляційних і конструкційних деталей в авіабудуванні. Показано економічні та технологічні переваги склокераміки порівняно з керамікою та запропоновано варіанти розвитку її виробництва в Україні.

Останнім часом у світовій практиці намітилася тенденція до використання нових технологій і матеріалів. Особлива увага при цьому приділяється створенню перспективних виробів високопродуктивними засобами з новими властивостями. Дуже перспективними варто вважати технології, які мають застосування в екстремальних умовах, у тому числі в авіації та космонавтиці. До цих виробів пред'являється багато вимог, які не завжди вдається реалізувати за допомогою однорідних матеріалів. Цілу низку таких проблем можна вирішити за допомогою нових технологічних і економічно вигідних склокерамічних композиційних матеріалів (СКМ).

Склокерамічні композиційні матеріали – це особливий вид штучного спеченого композита, що поєднує у собі хімічно різномірні компоненти у вигляді скляної і керамічної фаз із межею поділу між ними. Хімічна різномірність компонентів СКМ відрізняє їх від некомпозиційних кристалічних (наприклад, ситалів) і склокерамічних матеріалів з однією скляною фазою. Синтезуються СКМ рідкофазним спіканням дрібнодисперсного гомогенізованого порошку з часток скла й одного або декількох керамічних функціональних наповнювачів. Властивості і структура СКМ залежать не тільки від співвідношення, кількості і матеріалу його компонентів, але й від властивостей скла, які можуть змінюватися у випадку кристалізації. Внаслідок утворення при спіканні нової кристалічної фази з'являється додаткова можливість впливу на властивості СКМ. Ця фаза може утворюватися або за рахунок кристалізації тільки скла, або за рахунок кристалізації продукту взаємодії скла з наповнювачем у вигляді міжфазного прошарку.

Експериментальне дослідження впливу багатьох чинників на властивості склокераміки – задача практично майже не здійснима, особливо якщо необхідна оптимізація властивостей залежно від технологічних операцій, вихідної сировини, стану компонентів у процесі спікання. При цьому потрібно пам'ятати про велику кількість чинників, що на них впливають. Це – властивості скла, наповнювачів, кристалічної фази, ступінь кристалізації скла або міжфазного прошарку, розміри частинок, пористість та інші структурні властивості. Багато з цих чинників у свою чергу залежать від технологічних режимів, співвідношення матеріалів, що закладаються, їхньої чистоти тощо. Тому створення СКМ з необхідними фізичними й експлуатаційними характеристиками являє собою складну багатофункціональну параметричну задачу, вирішення якої можна спростити за допомогою аналітичних методів, що дозволяють прораховувати різноманітні варіанти. Впровадження таких методів у

практику інженерних розрахунків дозволить значно скоротити обсяги експериментальних пошуків при розробці таких матеріалів. Основна складність у створенні високоякісної склокераміки зумовлена необхідністю пошуку складу і технології одержання скла.

Широке застосування алюмооксидної кераміки в ізолюючих виробках електроніки не завжди виправдане через великі матеріальні витрати на електроенергію і на дорогі енергоємні вогнеприпаси (керамічну оснастку, використовувану при спіканні). Це пов'язано з високими температурою ($t = 1550 \dots 1750^\circ\text{C}$) і тривалістю спікання (десятки і сотні годин). Одночасно висока міцність і теплопровідність алюмооксидної кераміки з великим запасом перевершують необхідні значення для багатьох застосувань. Крім того, алюмооксидна кераміка вже давно стала гальмом на шляху реалізації високих швидкодій і ступеня інтеграції формованих на їхній основі багатошарових комутаційних плат (БКП) для надшвидкісних інтегральних схем, які все ширше застосовуються у бортовій апаратурі. Це обумовлено їхньою високою діелектричною проникністю (тому характерними є великі паразитні ємності) і високим опором тугоплавких провідників із вольфраму й інших металів, які спільно впікаються (тому відбувається затримка часу проходження сигналу). Невипадково доповідь по БКП із СКМ на засіданні по технології складання, зроблена дослідниками з японської фірми NEC Corp., була визнана одним із самих цікавих повідомлень на міжнародній конференції з електронних компонентів в Орландо (штат Флорида, США).

Основним достоїнством СКМ є те, що їхнє спікання у порівнянні з алюмооксидною керамікою відбувається значно швидше і при більш низькій температурі. В умовах високої вартості електроенергії застосування склокераміки стає особливо актуальним.

На сьогодні науково-дослідним технологічним інститутом "Темп" (м.Одеса) розроблені склад, технологія, технічні умови СКМ, характеристики яких наведені в таблиці.

Характеристика СКМ	Значення одиниці виміру
Діелектрична проникність на частоті 1 МГц	8
Тангенс кута діелектричних втрат на частоті 1 МГц	Не більше 0,0005
Питомий об'ємний електроопір, Ом·см	Не менше 10^{14}
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, $1/^\circ\text{C}$	$6 \cdot 10^{-6}$
Границя міцності при статичному згинанні, Н	Не менше 150
Теплопровідність, Вт/м·К	2
Водопоглинання, %	Не більше 0,02
Максимальна температура спікання, $^\circ\text{C}$	800–900
Атмосфера спікання	Повітря
Час спікання при максимальній температурі, хв	1– 3
Розкид відносної лінійної усадки, %	Менше 0,03

Для скорочення трудоемності розробки матеріалу застосовано комплексний підхід, який сполучить експериментальний і теоретичний методи досліджень. Особлива увага

приділена методу розрахунку діелектричних властивостей компонентів у синтезованих СКМ, а також залежності діелектричних властивостей СКМ від властивостей компонентів і структурних параметрів матеріалу.

Основні параметри розроблених СКМ аналогічні параметрам алюмооксидної кераміки і не поступаються закордонній склокераміці, розробленій в Японії, США, Німеччині та Великій Британії.

Енерговитрати для виробів з такого СКМ приблизно в 50 разів нижчі, ніж виробів з кераміки через такі причини:

- температура спікання знижена до 800–900°C замість 1550–1750°C;
- час спікання знижений в десятки разів;
- більш ніж у 100 разів знижені витрати значно енергоємних вогнеприпасів;
- для багатьох деталей застосований метод пресування прес-порошку автоматами перед їхнім спіканням;
- розроблювані в науково-дослідному технологічному інституті "Темп" швидкісні прес-автомати заміняють 50 прес-автоматів, які використовуються на заводах України і Російської Федерації;
- у складі СКМ енергоємний оксид алюмінію частково витиснутий менш енергоємним склом;
- значно рідше заміняється інструментальна оснастка для пресування через менше зношення, оскільки використовується в декілька разів менший тиск пресування й у склокерамічному прес-порошку утримується менше частинок оксиду алюмінію, які впливають на зношення інструменту, таким чином зменшуються енерговитрати на оснастку;
- для деталей із строгими розмірними допусками може виключатися шліфування через малий розкид лінійної усадки при спіканні (у 2,5 рази нижчий ніж у кераміки).

Розроблений СКМ має широкий діапазон можливого застосування: підкладки для товстопліткових мікросбірок, багатошарові комутаційні плати для швидкісних і великих інтегральних схем, підставки для конденсаторів, постійних, перемінних і чип-резисторів, різноманітні ізолятори, окремі конструкторські деталі. Цей діапазон значно ширший діапазону застосування закордонної склокераміки (в одно- і багатошарових платах).

Застосування розробленого СКМ замість алюмооксидної кераміки дає особливо багато переваг у виробництві БКП.

Економічні переваги:

- вартість виробів із СКМ у 2–3 рази нижча, ніж з кераміки за рахунок:
- спрощення технологічного процесу;
- обмеження номенклатури, кількості і вартості засобів технологічного оснащення, які використовуються;
- зменшення виробничих площ;
- скорочення числа працюючих;
- зниження трудоемності;
- збільшення продуктивності.

Технічні переваги:

- збільшення швидкодії електронних схем за рахунок зменшення діелектричної проникності ізолюючого прошарку і застосування провідникових паст з меншим електроопором;
- збільшення густини монтажу провідників;

– зменшення масогабаритних характеристик.

Технологічні переваги:

– значне зниження температури (приблизно в два рази) і часу спікання (більш ніж на порядок);

– заміна захисної атмосфери на звичайне повітря при спіканні;

– збільшення довговічності вогнеприпасу.

На сьогоднішній день також розроблені технології виготовлення конденсаторів, резисторів, підкладок, БКП, інших виробів та комплект композиційних паст для товстоплівкових провідників і резисторів, сумісних з розробленим СКМ. Розроблено швидкісний прес-автомат і автомат для пробивання отворів у сирих склокерамічних картах для провідникових з'єднань між рівнями БКП. Запропоновані нові методи розрахунку параметрів СКМ і його компонентів дозволяють прогнозувати властивості утворюваних матеріалів.

Результати виконаних досліджень дуже ефективні при впровадженні у виробництво основ конденсаторів і резисторів, різноманітних ізоляторів для електротехніки, електроніки та спецвиробів. Розробка дозволить відмовитися від імпорту подібних виробів. На сьогодні в Україні відсутнє не тільки виробництво склокерамічних виробів для електроніки, але і виробництво перерахованих виробів з традиційної кераміки. Монополістом-виробником і постачальником основ резисторів та ізоляторів є єдиний у країнах СНД Південноуральський завод радіокераміки (Челябінська область, Російська Федерація). Його вироби з кераміки М4 поступають за своїми параметрами звичайній алюмооксидній кераміці, наприклад, марки ВК96-4 (22ХС). Крім перерахованих переваг, склокераміка дозволить перевищити ряд параметрів кераміки М4.

При використанні результатів розробки в десятки разів збільшиться продуктивність формування заготовок перед спіканням у порівнянні із способом гарячого пресування, який використовується у виробництві виробів з кераміки М4. Крім того, з'явиться можливість використання надшвидкісних прес-автоматів оригінальної конструкції із швидкістю пресування біля 100 заготовок в секунду. Знизиться вартість виробів, трудомісткість їхнього виготовлення, кількість, вартість і номенклатура устаткування, яке застосовується, а також у десятки разів зменшиться кількість робочих площ.

Заводами-виготовлювачами склокерамічних виробів з поліпшеними характеристиками і малою вартістю можуть стати такі заводи, що вже сьогодні мають необхідне устаткування і досвід роботи, наприклад, склозавод у м. Костопіль і завод електрокераміки у м. Біла Церква.

Загальна мета дослідження – впровадження у виробництво високопродуктивного, експресного і високоефективного технологічного процесу виготовлення дешевих ізолюючих і конструкційних деталей для електроніки та авіабудівництва із склокерамічного композиційного матеріалу з поліпшеними характеристиками у порівнянні з керамікою М4.