

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ КЕРАМОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИТІВ

Композиційні матеріали сьогодні є одним з найзатребуваніших матеріалів сучасного промислового виробництва. Шляхом зміни складу і властивостей компонентів композиційного матеріалу (матриці й наповнювача, їх співвідношення, орієнтації наповнювача тощо) можна отримати будь-які вироби із заздалегідь заданими технологічними та експлуатаційними властивостями.

За матеріалом матриці композиційні матеріали поділяються на полімерні (ПКМ), металеві (МКМ) і керамічні (ККМ). Сьогодні найбільше поширення мають ПКМ (до 80 % виробів за масою), на другому місці – МКМ. Сучасним керамічним композиційним матеріалам приділяється значно менше уваги [1, 2].

Керамічні, або керамоматричні, композиційні матеріали створюються шляхом суміщення керамічної матриці з вуглецевими волоконними або іншими армувальними компонентами. Порівняно з МКМ вони мають низку переваг: невелика густина при високій міцності, хімічна інертність, високі жаростійкість і жароміцність, зносостійкість та теплоізоляційна здатність, стійкість до дефектів мікроструктури та ін. Такі властивості дозволяють використовувати ККМ з високою надійністю в експлуатації при високих температурах та за умови статичних, вібраційних і ударних навантажень [3].

Як *матрицю* для ККМ використовують різноманітні керамічні матеріали на основі оксидів (Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2), карбідів (SiC , TiC , B_4C), нітридів (Si_3N_4 , AlN , BN), боридів (TiB_2 , ZrB_2) та ін. Проте найбільше практичне застосування отримали композити з карбидокремнієвою матрицею [2, 3].

Новим напрямком у застосуванні ККМ є використання склокристалічної (ситалової) матриці. Її перевага полягає у тому, що формування заготовок відбувається при порівняно низьких температурах. При подальшому термообробленні у матриці відбувається спрямована кристалізація, наслідком якої є підвищення робочих температур ККМ (до $1250\text{ }^\circ\text{C}$) [3].

Ще одним напрямком є створення керамічних матриць на основі керамотвірних полімерів. Для їх отримання використовують полімерні сполучники типу полікарбосиланів та полісілазанів. Керамічні залишки, які утворюються внаслідок піролізу в інертному середовищі, заповнюють міжволокнистий простір і захищають волокна від окиснення. Правда, для отримання щільного виробу за такою технологією необхідне багаторазове проведення рідиннофазного просочування з повторними процесами піролізу [3].

Як *наповнювачі* керамічної матриці гарний результат показали високоміцні безперервні і дискретні карбидокремнієві та вуглецеві волокнисті матеріали (волокна, нитки, стрічки, джгути тощо) і ультрадисперсні керамічні сполуки, зокрема порошки SiC , Si_3N_4 , Al_2O_3 . У деяких випадках (наприклад, при створенні теплоізоляційних ККМ) кращий результат дає використання дисперсних наповнювачів типу карбіду кремнію. А при використанні для армування вуглецевого джгута можна отримати досить високі міцнісні характеристики композиту: $\sigma_B = 3000\text{ МПа}$, $E = 230\text{ ГПа}$ при $\rho = 1,75\text{ г/см}^3$ [2].

Процес виробництва волокон карбіду кремнію дуже складний, що обмежує можливості їх використання. Крім того, для цих волокон існує необхідність розроблення системи покриттів, які дозволять регулювати взаємодію наповнювача і матриці на міжфазних межах.

Технологія виготовлення виробів з ККМ – досить складний і тривалий процес. Її основа – ущільнення і просочування волокнистого наповнювача або пористої основи матричним матеріалом. Вироби можуть бути отримані твердо- і рідиннофазними методами.

Сутність твердофазних методів полягає у формуванні виробів пресуванням у прес-формах, мундштучним формуванням та ін. Для отримання монолітної кераміки спресовані вироби піддаються спіканню. Іноді використовують технології, які поєднують формування зі спіканням, наприклад, гаряче ізостатичне пресування.

Рідиннофазні методи є порівняно дешевшими. Вони використовують декілька технологій [4]. Перша – просочування армувального наповнювача (у вигляді підготовленого волокнистого каркасу) розплавом матричного матеріалу. Це перш за все кераміка на основі боросилікатних, алюмосилікатних та інших видів скла. Другий варіант – високо-температурний піроліз полімерних сполучників (процес PIP – Polymer Infiltration and Pyrolysis), якими просочують пористий або волокнистий каркас. Як вихідний полімер найчастіше використовують органометалеві сполуки. Для отримання високоякісних виробів цикл «просочування – піроліз» повторюється декілька разів. Ще один варіант – реакційне спікання матеріалу пористої заготовки в процесі фільтрації крізь неї хімічно активних реагентів. Тут найпоширеніший метод – інфільтрація заготовки, яка містить вуглець, розплавом кремнію (процес LSI – Liquid Silicon Infiltration). Внаслідок хімічної реакції між розплавом кремнію та вуглеграфітовими компонентами утворюється кінцевий продукт – карбидокремнієва матриця.

Галузі *використання* ККМ досить широкі і різноманітні. Нові композиційні матеріали є перспективними для багатьох галузей машинобудування.

Так, з них виготовляють великогабаритні тонкостінні вставки для вузлів тертя (підшипники ковзання, занурені відцентрові насоси), торцеві ущільнення, деталі клапанів і запірної арматури, які працюють у різноманітних агресивних і абразивовмісних середовищах при підвищених температурах і вібраційних навантаженнях.

Керамоматричні композиційні матеріали знаходять застосування у виробках аерокосмічної техніки.

Наприклад, компанія GE Aviation повідомила про створення з ККМ банджа і лопаток турбіни високого тиску авіадвигуна. Керамічні турбінні лопатки значно легші з звичайні лопатки з хромонікелевих сплавів. Легші лопатки створюють менше відцентрове навантаження на диски, підшипники та інші деталі двигуна, а отже, дозволяють зменшити їх масу. Турбінні лопатки з ККМ у двигуні F414 пройшли через 500 циклів – від холостих обертів до злітної тяги і назад.

Деякі фірми (наприклад, «Нагрооп» (VSTT), «ESK» (ФРН)) використовують в авіаційних двигунах гібридні і суцільнокерамічні підшипники з тілами кочення з керамоматричних композитів. Їх перевагою є здатність опиратися високим температурам і навантаженням. Порівняно зі сталевими вони мають у 3–10 разів більшу довговічність при робочій температурі 600 °C [2].

Керамоматричні композити використовуються у виробках, які мають термонапружені елементи: деталі теплозахисту і покриття, елементи високотемпературних газодинамічних стендів і термокамер; у конструкціях, де пріоритетним є оптимальне співвідношення маси і міцності. Зокрема, для камер згоряння, жарових труб ГТД розробляються керамоматричні покриття, які, крім високої міцності, мають коефіцієнт теплового розширення (КТР), близький до КТР основного металу, що дозволяє збільшити працездатність при термічних і знакозмінних навантаженнях [3, 5].

Прикладом використання керамоматричних композитів для захисту внутрішніх поверхонь камер згоряння авіаційних двигунів є жароміцна емаль ЕВК-103М. Її основою слугують оксиди хрому й кобальту (Cr_2O_3 , Co_3O_4), тетраборид кремнію (SiB_4) тощо. Отриманий за спеціальною технологією матеріал у вигляді в'язкої маси напильється на стінки камери згоряння та піддається термообробленню. Отриманий емалевий шар має після охолодження аморфну будову та характеризується значною жароміцністю, високою адгезивною здатністю до матеріалу оброблюваної металеві поверхні.

Складні керамоматричні матеріали, армовані полімерними волокнами у комбінації з металевими шарами, створюють ефективну композитну броню. Британська компанія Morgan Advanced Materials створила броню САМАС на основі керамометалевої матриці, армованої волокнами. Броня САМАС завтовшки 25 мм використовується замість сталі для виготовлення захисних капсул для легких бойових машин.

Науково-дослідна лабораторія ВМС США розробила прозорий керамічний композиційний матеріал на основі шпинелі $MgO \cdot Al_2O_3$, який використовується для виготовлення куленепробивного скла.

Компанія CeramTec-ETEC розробила прозору кераміку PERLUCOR. Вона має прозорість понад 90 %, у 3–4 рази міцніша за звичайне скло, стійка за температури до 1600 °C. Кераміку PERLUCOR використовують у цивільному виробництві, транспортних засобах як матеріал, стійкий за умов газоабразивного зношування.

З керамоматричних композитів виготовляють складні конструкції відбивачів і дзеркал лазерних локаторів, високоточні вимірювальні інструменти; їх використовують у випадках, коли виробу треба забезпечити стабільність розмірів, високу якість поверхні при стійкості проти термонапружень, ударів, подряпин тощо.

Світовий досвід свідчить, що, попри наявні проблеми, досягнуті значні успіхи у покращенні характеристик ККМ завдяки оптимальному вибору вихідних матеріалів, отримання кращих мікроструктури та фазового складу композиту; у розробленні досконаліших технологій, їх методів і параметрів; в удосконаленні методології проектування і виготовлення виробів з ККМ з необхідними властивостями.

Список літератури

1. Спеціальні конструкційні матеріали : підручник для ВНЗ / [Солнцев Ю. П., Беліков С. Б., Волчок І. П., Шейко С. П.]. – Запоріжжя : ВАЛПІС-ПОЛІГРАФ, 2010. – 536 с.
2. Минаков В. Т. Керамоматричные композиты / Минаков В. Т., Солнцев С. С. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2007. – № 2. – С. 90–99.
3. Беліков С. Б. Керамічні композиційні матеріали в авіа- і автомобілебудуванні / Беліков С. Б., Волчок І. П., Мітяев О. А. // Збірник наукових праць «Будівництво, матеріалознавство, машинобудування». – Дніпро, 2018. – Вип. 104. – С. 59–65.
4. Нилов А. С. Жидкофазные методы получения изделий из керамоматричных композитов / Кулик В. И. // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом». – Воронеж, 2018. – № 3. – С. 68–72.
5. Физико-механические свойства керамических материалов и покрытий, получаемых плазменным напылением / Васькевич Ф. Ф., Спильник А. Я., Загородний О. Б., Журавель В. И. // Збірник наукових праць «Будівництво, матеріалознавство, машинобудування». – Дніпро, 2018. – Вип. 104. – С. 82–86.

Одержано 10.12.2018

© Канд. техн. наук Плескач В. М., д-р техн. наук Ольшанецький В. Ю.

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

Pleskach V., Ol'shanetskii V. The technologies of manufacturing and the use of ceramic matrix composites