

УДК 621.762

Д.О. Зленко, інж.
Світловодський завод теплоізоляційних матеріалів (Кіровоградська обл.)
О.О. Ситник, аспір.
Кіровоградський державний технічний університет

ТЕРМОМЕХАНІЧНА ТА ТЕРМОДИНАМІЧНА СУМІСНІСТЬ КОМПОНЕНТІВ ШАРУВАТОГО ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КЕРМЕТУ

В роботі представлений метод попереднього підбору вагової частки компонентів ріжучого шару та розрахунку підложки для ріжучого шару з точки зору термомеханічної сумісності. Запропонований метод розрахунку складів шарів композиційних різальних матеріалів використаний для розробки шаруватого інструментальної кераміки.

Експлуатаційні та фізико-механічні властивості композиційної кераміки залежать не тільки від властивостей складових компонентів, але й від термодинамічної, термомеханічної і термохімічної сумісності цих компонентів. Особливо великий вплив на експлуатаційні властивості композиційної кераміки, що застосовується як металорізальний інструмент, має термомеханічна сумісність твердосплавної підложки і керамічного різального шару.

Виробництво непереточуваних різальних пластин на основі оксидів та карбідів металів вимагає розрахункового обґрунтування вибору компонентів, часткового складу з метою одержання необхідних експлуатаційних параметрів виробу. В сучасній металообробній промисловості використовується високопродуктивний керамічний матеріал для різання, головним недоліком якого є крихкість. Одним із багатьох засобів зміцнення різальної пластини із кераміки є спосіб з'єднання різального шару з підложкою, менш твердою і зносостійкою, але більш міцною на вигин і з більшою теплопровідністю. У відомих роботах термомеханічна сумісність різального шару і підложки визначалась експериментально, шляхом підбору матеріалу підложки. Але цей метод являє собою складний, тривалий та енергоємний процес. Крім того, інтервал часткових значень компонентів у кераміці і підложці може змінюватись в широкому діапазоні від 20–30 % по масі без суттєвого змінення очікуваного ефекту. Це можна пояснити, з одного боку, багатопараметричністю процесів виготовлення шаруватих різальних пластин і проблематичністю встановлення зв'язку між ними, з іншого боку, – відсутністю даних про зв'язуючі речовини, що утворюються в результаті поверхневої взаємодії компонентів і фаз.

Особливого значення набуває розрахунок коефіцієнта термічного розширення, коли кераміку використовують в контакт з іншим матеріалом, наприклад, в шаруватих різальних пластинах, де підложкою служить твердий сплав. Інформація про розрахунок $\alpha_k(T)$ у відомій літературі обмежена. Між тим дослідники характеру руйнування різальної кераміки називають термічне напруження однією з головних причин руйнування.

В даній роботі зроблена спроба створити метод попереднього підбору вагової частки вибраних компонентів різального шару і розрахунку підложки для даного різального шару з точки зору термомеханічної сумісності.

В основу розрахунку покладена класична залежність термічного напруження і коефіцієнта термічного розширення контактуючих речовин від температури, а також ідея про сумарний коефіцієнт розширення композиційної кераміки як усередненої величини $\alpha_i(T)$ складових компонентів з урахуванням їх пружних властивостей за умов обмеженості їх взаємодії.

Враховуючи температурну залежність коефіцієнта термічного розширення $\alpha_i(T)$ речовин, величину $\Delta\sigma$ напруження між шарами можна виразити у вигляді:

$$\Delta\sigma = \sigma_K - \sigma_{II} = \int \alpha_K E_K dT - \int \alpha_{II} E_{II} dT, \quad (1)$$

де індекси K і II відносяться до параметрів кераміки та підложки. Для багатокомпонентної дисперсно-зміцненої композиційної системи, якою є кераміка та твердий сплав, усереднені $\langle \alpha(T) \rangle$ можна виразити у вигляді:

$$\langle \alpha(T) \rangle = C \frac{\sum_1^N \alpha_i(T) \varphi_i E_i / \gamma_i}{\sum_1^N \varphi_i E_i / \gamma_i}, \quad (2)$$

де φ_i – частка i -го компонента за вагою; E_i – модуль пружності, Па; γ_i – густина, кг/м³; C – коефіцієнт, що враховує зміну пружних властивостей компонентів від температури.

Експериментально встановлено, що в інтервалі температур 100–1000 °С коефіцієнт C визначається залежністю:

$$C = 1 + 10^{-4} T. \quad (3)$$

Величини $\alpha(T)$, E/γ для металів та фаз, що перспективні для розробки композиційної кераміки та керметів, наведені, наприклад, у роботі [1].

Усереднення за формулою (2) справедливе, оскільки склад для гарячого пресування кераміки складається з компонентів, розчинність яких один в одному відсутня, а нові фази, що виникають як результат поверхневих реакцій у кількості, яка дорівнює зменшенню вихідних компонентів, можуть бути враховані. При розрахунку $\Delta\sigma$ необхідно також враховувати область робочих температур ріжучої пластини.

Особлива небезпека руйнування виникає при теплових ударах та в інтервалі температур, де $d\alpha/dT$ зазнають зміни знаку. Гасінню мікротріщин та збереженню пластин сприяє створення невеликого стискаючого напруження шару кераміки в області контакту з підложкою і в області контакту зерна зі зв'язкою. В робочому режимі температура кераміки в зоні різання перевищує температуру підложки. При дотриманні нерівності $\int \alpha_n dT > \int \alpha_k dT$ в шарі кераміки, що контактує з перехідним, створюються умови, які сприяють утворенню мікротріщин та розвитку їх від перехідного шару в бік різальної кераміки. Якщо $\int \alpha_n dT < \int \alpha_k dT$, то приконтатна область кераміки зазнає підтискаючих напружень, що гасять розвиток мікротріщин. Отже, необхідно підібрати підложку, в якій в області робочих температур дотримується співвідношення:

$$\int \alpha_k dT \geq \int \alpha_n dT, \quad (4)$$

Розрахунковий підбір компонентів здійснюється в наступній послідовності.

1. Вибір компонентів за міцністю та твердістю.
2. Будується графік залежності $\alpha_i(T)$ для всіх присутніх компонентів керамік та твердого сплаву у проєктованій різальній пластині.
3. Будується графік допоміжних залежностей $(\varphi_i E_i / \gamma_i) = f(\varphi_i)$ та $\alpha_i \varphi_i E_i / \gamma_i = f(\varphi_i)$ для усіх компонентів.
4. На ПЕОМ за допомогою математичного експерименту за формулою (2) з урахуванням (3) визначають $\alpha_k(T)$ при різних φ_i компонент. Результати надають у вигляді графіків. Аналогічно виражають графічно $\alpha_n(T)$.
5. Аналізуючи графіки $\alpha_k(T)$ та $\alpha_n(T)$, здійснюють вибір φ_i так, щоб виконувалось співвідношення (4).

Одним із головних моментів розробки шаруватої ріжучої пластини є вибір компонентів різального шару та підложки за міцністю та твердістю, які задовольняють вимогам режимів та умов різання, термомеханічної та термодинамічної сумісності. Маючи дані про матеріал різального інструмента для різних класів оброблюваних матеріалів і виходячи із механіко-термічної та електрофізичної природи матеріалів, їх хімічної стійкості, здійснюють вибір компонентів для пластини, що проєктується. Особливо уважно треба віднестись до вибору металевої зв'язки. Зв'язуючий метал повинен не тільки добре змочувати компоненти підложки, але й, дифундуючи на деяку глибину в проєктовану область кераміки в процесі виготовлення, утворювати перехідну зону.

Графічне зображення залежностей $\alpha_i(T)$ обраних компонентів майбутньої шаруватої пластини сприяє наочному уявленню про величину та характер змінювання термічного розширення компонентів у даному інтервалі температур.

На рисунку 1 показана залежність $\alpha(T)$ для деяких фаз. Графічні залежності $\varphi_i E_i / \gamma_i = f(\varphi_i)$ і $\alpha_i(T) \varphi_i E_i / \gamma_i = f(\varphi_i)$, необхідні для оцінки $\alpha(T)$ згідно з формулою (2), показані на рисунках 2 і 3. Проведення математичного пошуку оптимального часткового співвідношення компонентів у різальному шарі та підложці в кілька десятків разів скорочує енергетичні, трудові, матеріальні затрати в порівнянні з чисто експериментальним пошуком, дозволяє значно наблизитися до оптимального складу шляхом зниження кроку змінення частки кожного компонента.

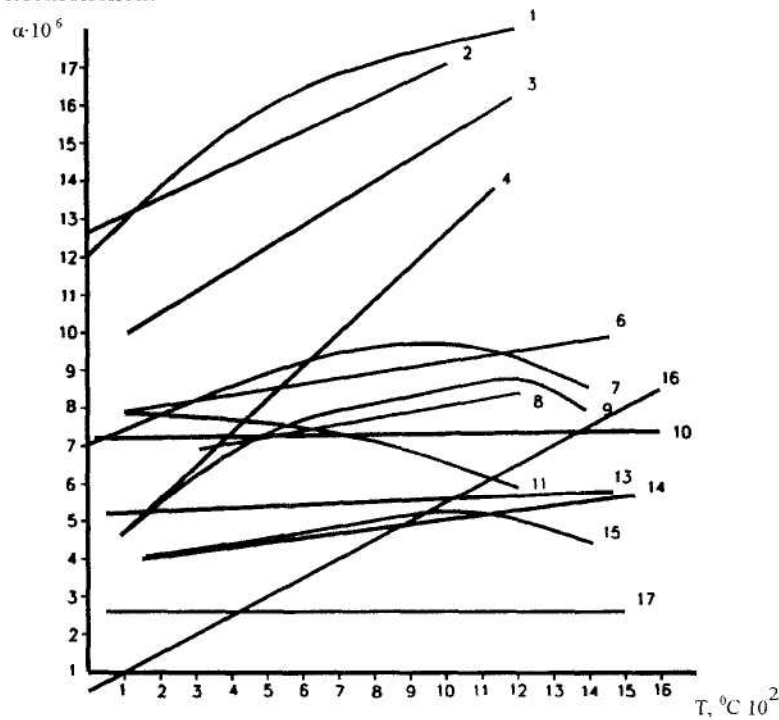


Рис. 1. Залежність коефіцієнта термічного розширення α від температури T для деяких фаз: 1 – Co; 2 – Ni; 3 – MgO; 4 – O₂; 5 – ZrO₂; 6 – бор; 7 – MgAl₂O₄; 8 – TaC; 9 – Al₂O₃; 10 – VC; 11 – TiC; 12 – NbC; 13 – Mo; 14 – SiC; 15 – WC; 16 – алмаз; 17 – Si₃N₄

Розглянемо пластину з різальним шаром із оксиду алюмінію з доданням оксиду магнію. В процесі спікання між оксидами здійснюється хімічна реакція на поверхні зерен Al₂O₃ з утворенням шпинелі MgAl₂O₄, що обумовлює міцність кераміки [3]. Термічні коефіцієнти лінійного розширення цих оксидів значно відрізняються, при $T = 1200$ °C знак $d\alpha/dT$ оксиду алюмінію змінюється (рис. 1). Кількість оксиду магнію обмежена необхідністю утворення зв'язку зерен Al₂O₃ та не перебільшує 1 %. Термічний коефіцієнт розширення MgAl₂O₄ близький $\alpha_{Al_2O_3}$, змінення знаку $d\alpha/dT$ спостерігається при тій же температурі, що і у оксиду алюмінію. Досвід показує, що збільшення частки MgO більше, ніж 1 % за масою призводить до різкого зменшення міцності, стійкості оксидної кераміки із-за присутності самостійної фази MgO та підвищення термічного напруження. Значення алюмошпинелі визначене із розрахунку взаємодії усєї взятої кількості MgO з оксидом алюмінію. Виходячи із молекулярних мас оксидів, маємо 0,7 % MgO відповідає 2,1 % MgAl₂O₄, тоді оксид алюмінію складає 97,9 %. На рис. 2 наведені графічні залежності $\varphi_i E_i / \gamma_i$ та $\alpha_i \varphi_i E_i / \gamma_i$ як функції φ_i (рис. 3).

Розрахункова крива $\alpha_k(T)$ за формулою (2) оксидної кераміки вказаного складу наведена на рис. 4 пунктирною лінією. Залежність $\alpha_k(T)$ відповідає кривій 4. Дослідні дані одержані за допомогою кварцового дилатометра з точністю вимірювання 1 мкм видовження зразка розміром $4 \times 4 \times 35$ (мм), виготовленого способом гарячого пресування.

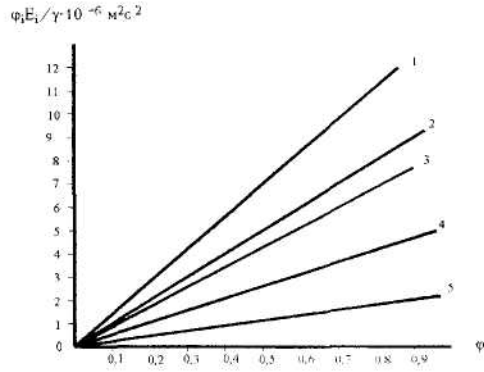


Рис. 2. Залежність $\varphi_i E_i / \gamma_i = f(\varphi_i)$:
1 – Al_2O_3 ; 2 – TiC ; 3 – MgAl_2O_4 ; 4 – WC ; 5 – Ni

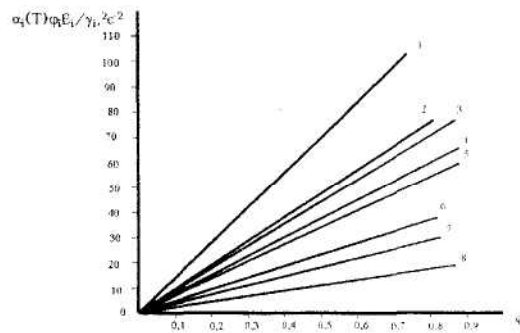


Рис. 3. Залежність $\alpha_i \varphi_i E_i / \gamma_i = f(\varphi_i)$ деяких фаз:
1 – Al_2O_3 ($T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$); 2 – Al_2O_3 ($T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$); 3 – Al_2O_3 ($T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$);
4 – TiC ($T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$); 5 – TiC ($T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$); 6 – Ni ($T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$); 7 – Ni ($T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$);
8 – WC ($T = (200-900) \text{ }^\circ\text{C}$)

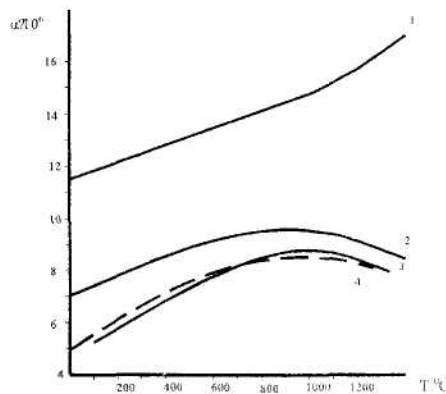


Рис. 4. Залежність коефіцієнта термічного розширення α від температури T :
1 – $\alpha(T) \text{ MgO}$; 2 – $\alpha(T) \text{ MgAl}_2\text{O}_4$; 3 – $\alpha(T) \text{ Al}_2\text{O}_3$ – розрахована за формулою (2);
4 – $\alpha(T) \text{ Al}_2\text{O}_3$ – дослідні дані дилатометрованого зразка VO_{13}

Із рис. 4 виходить, що розрахункова крива дає підвищені значення $\alpha_k(T)$ порівняно з даними дослідів. В інтервалі температур (200–600) °С підвищення складає не більше 3 %, при температурі (300–1000) °С зниження не більше 5 %, що пояснюється похибкою використовуваних вхідних залежностей $\alpha_k(T)$, а також наявністю домішок та намолу. Як видно із рисунка, для чисто оксидної кераміки можна вважати формулу (2) справедливою в інтервалі температур (200–1000) °С.

Запропонований метод розрахунку складів шарів композиційних ріжучих матеріалів використаний для розробки шаруватої кераміки, робочий шар якої складається з відомих марок кераміки, а як підложка використовується модифікований безвольфрамовий сплав ТН20 або спеціально розроблений кермет на основі системи тугоплавких з'єднань TiC-TiN-W-Mo [3].

Завдяки високій в'язкості та значній теплопровідності, підложка забезпечує механічну міцність пластини та зменшує перегрів композита в зоні різання шляхом інтенсивного тепловідведення.

Експериментальна перевірка міцнісних та стійкісних властивостей різальної шаруватої пластини показує, що з метою зниження термічних напружень в пластині підбір компонентів за термічною сумісністю різального пару та підложки, а також двох з'єднаних шарів кераміки та підложки можна здійснювати з досить високою вірогідністю за наведеною методикою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кислий П.С. и др. Керметы. – Киев: Наукова думка, 1985. – С. 272.
2. Kolaska H., Dreger K. "Scheidkeramik – Hochleistungswerkstoff mit Zukunft", Fachder Metalbearb, с. 552, 1985.
3. Познанский В.И. и др. Разработка и некоторые эксплуатационные свойства инструментального кермета на основе системы TiC-TiN-W-Mo. Сборник трудов научно-технической конференции «Прогрессивные технологии машиностроения и современность». – Севастополь (9–12 сентября 1997 г.), с. 200.

ЗЛЕНКО Дмитро Олександрович – інженер Світловодського заводу теплоізоляційних матеріалів.

Наукові інтереси:

– обробка матеріалів різанням.

СИТНИК Олексій Олексійович – аспірант Кіровоградського державного технічного університету, завідувач лабораторій Світловодського технікуму радіоелектронного приладобудування.

Наукові інтереси:

– обробка матеріалів різанням;

– комп'ютерне моделювання технологій.

Телефон: (05236) 3-21-41; E-mail: sytnik@zenit.kirovograd.ua

Подано 24.05.2001