

**Михнян О.В.**

(ФТІМС НАН України, м. Київ)

**ТЕРМОДИНАМІЧНА ОЦІНКА СТУПЕНЮ ВЗАЄМОДІЇ РОЗПЛАВУ З  
КОМПЛЕКСНОМОДИФІКОВАНОЮ КЕРАМІКОЮ**

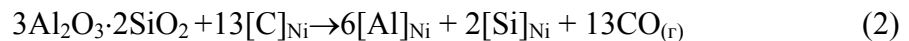
E-mail: mixnyan@ukr.net

При отриманні литих лопаток газотурбінних двигунів (ГТД) в результаті взаємодії розплаву з матеріалами оболонкової форми та стрижнів може утворюватись пригар, що негативно відображається на експлуатаційних характеристиках деталей. Підвищення термічної та хімічної стійкості вогнетривкої кераміки було досягнуто розробкою у ФТІМС НАНУ нового складу матеріалів ливарної оснастки за допомогою комплексного модифікування.

В даній роботі автором за допомогою термодинамічних методів була проведена оцінка граничного значення тиску при процесі плавлення у вакуумній печі або атмосфері інертних газів, при якому ступінь взаємодії на межі розплав – кераміка при процесі отримання спрямованих кристалізованих деталей є найменшим. Як матеріал для дослідження використовували жароміцний нікелевий сплав типу ХН60КМЮВТ та комплексномодифіковану кераміку на основі корунду. Підвищення міцності та термічної стійкості модифікованої кераміки базується на утворенні більш термостійкої сполуки – муліту ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), за рахунок введення порошків алюмінію та кремнію в основу. Реакцію взаємодії муліту з вуглецем, розчиненим у нікелевому розплаві, з переходом алюмінію й кремнію в розплав можна представити у вигляді ряду послідовних реакцій:



Після ряду перетворень формул, сумарна всіх перерахованих вище реакцій буде мати вигляд:



$$\text{Для } T = 1633 \text{ K: } \Delta G_T = 926440 - 898280 = 28159 \quad (3)$$

$$LgK_p = 28159 / 2,303 \cdot 1,98 \cdot 1633 = - 3,78; K_p = 1,65 \cdot 10^{-4} \quad (4)$$

Для реакції(2) константа рівноваги:

$$K_p = \frac{P_{CO}^{13} \cdot a_{Al}^6 \cdot a_{Si}^2}{a_C^{13}}, \quad (5)$$

Звідси рівноважний тиск оксиду вуглецю можна розрахувати за формулою:

$$P_{CO} = \sqrt[13]{K_p \frac{[\%C] \cdot f_C^3}{[\%Al] \cdot f_{Al}^6 \cdot [\%Si] \cdot f_{Si}^2}} \quad (6)$$

Раніше розраховані коефіцієнти активності вуглецю, алюмінію та кремнію для сплаву типу ХН60КМЮВТ:  $f_C = 0,863$ ;  $f_{Al} = 34,83$ ;  $f_{Si} = 1,12$  при  $T = 1633 \text{ K}$ . Розраховані в роботі значення рівноважного тиску оксиду вуглецю, що є критерієм ступеню взаємодії сплаву з керамічними матеріалами, за рівнянням (6) становить:  $P_{CO} = 0,0025 \text{ атм}$  (252 Па). Тобто якщо зовнішній тиск стає меншим за рівноважний тиск CO в зоні контакту, то інтенсифікується процес взаємодії.

Зважаючи на вищезгадане, автору було важливо емпірично перевірити, наскільки розраховані значення параметрів технологічного процесу корелюють з даними дослідів. Були отримані зразки сплаву, плавка та заливання яких проводилась у формах із звичайної та комплексномодифікованої кераміки за регламентованими параметрами плавлення та кристалізації окремих деталей ГТД (лопатки компресорів високого тиску) з орієнтованою

структурою. Зона контакту метал – форма отриманих зразків на виготовлених шліфах контролювалась металографічно та за допомогою МРСА (рис. 1). Було виявлено суттєве звуження шару взаємодії для зразків, котрі залиті у комплексномодифіковану кераміку при дотриманні розрахованого за допомогою термодинамічних рівнянь тиску.



x400

а



x400

б

а – корундова форма; б – комплексномодифікована форма

Рис. 1. Мікроструктура контактної шару форма –вилівок