

УДК 621.793.620.172

Лопата В.М., канд. техн. наук
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, gazoterm@ukr.net
Солових Є.К., докт. техн. наук, професор
Катеринич С.Є., канд. техн. наук, доцент
Солових А.Є., канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет, katerinichs@ukr.net

ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЛОПАТКАХ ГАЗОВИХ ТУРБІН

Лабораторні методи термомеханічних випробувань матеріалів з теплозахисними покриттями характеризується великою різноманітністю форм та розмірів зразків, режимів випробувань, методів нагрівання та охолодження. Відсутність стандартів на термомеханічні випробування матеріалів з теплозахисними покриттями не дозволяє порівняти ці методи випробувань.

У практиці термомеханічних випробувань використовуються методи нагрівання прямим пропусканням струму, індукційним нагріванням зразка, струмами високої частоти, нагріванням через проміжне тіло. Одна з тенденцій розвитку індукційного нагріву – застосування мегагерцевих частот, а також діелектричних та мікрохвильових методів нагріву.

Електричним методам нагрівання притаманні електропластичний та магнітопластичний ефекти, які суттєво спотворюють характеристики міцності та деформативності. При електропластичному ефекті зниження межі плинності досягає 50%, межі міцності – 17%, збільшення швидкості повзучості на 2 порядки та більше, зниження межі витривалості на 50%. Спотворює зумовлені механічні характеристики також ефект електроміграції, який може багаторазово прискорювати масоперенесення на поверхні розділу основа-покриття. Встановлено також, що електричні методи нагрівання можуть прискорювати корозійні процеси на поверхні покриття. Встановлено також суттєву відмінність у фазовому складі та будові покриттів залежно від способу нагрівання.

При нагріванні пропусканням струму і струму високої частоти некоректно для випробувань теплозахисних покриттів із-за відсутності подібності температурних полів, особливо градієнта температур по нормалі до поверхні. Тому електричні методи нагріву не можуть бути альтернативними променистому нагріванню, яке знаходить все більш широке застосування у практиці термомеханічних випробувань теплозахисних покриттів.

Нами запропоновано концепцію прискорених термоциклічних випробувань повзучості з використанням стандартного зразка на розтяг. Цикл тепломін характеризується високими швидкостями нагріву до 500° в секунду та швидкостями охолодження до 400° в секунду, тобто. практично в умовах термоудару. Головним фактором, що «пошкоджує», є термоциклювання з одночасним корозійним впливом середовища. Визначувана у цих умовах крива повзучості є чутливим інструментом з метою оцінки зміни стану теплозахисних покриттів та часу їх руйнування. Особливо чутливий характер та швидкість повзучості до стану поверхні розділу основа-покриття.

Принцип конструювання замкнутої фокусуєчої оптичної порожнини дозволив створити ряд малогабаритних нагрівально-охолоджувальних пристроїв із холодною дзеркальною стінкою та тепловою безінерційністю. Це і дозволило досягти високих швидкостей нагріву та охолодження [1, 2].

Єдине математичне планування багатofакторного експерименту та багатокритеріальна оптимізація за характеристиками міцності та довговічності дозволяє спрямовано конструювати багатoshарові теплозахисні покриття, оптимізувати технологічні режими

нанесення, отримати комплекс термомеханічних властивостей для розрахунку їх несучої здатності та ресурсу [3]. В результаті оптимізації порівняно з базовим варіантом довговічність багатощарових теплозахисних покриттів підвищено на 40%, швидкість повзучості знижено на 35% та підвищено товщину зовнішнього керамічного шару у 1,5 рази. Це скорочує обсяги стендових та натурних випробувань та забезпечує лабораторну експериментально-розрахункову базу для вдосконалення випробувань теплозахисних покриттів.

Список посилань

1. Ляшенко Б.А. О критериях адгезионно-когезионной равнопрочности и термостойкости защитных покрытий. *Проблемы прочности*. № 10. 114. (1980).
2. Ляшенко Б.А., Сорока Е.Б., Акинин К.Г. О связи адгезионной прочности и температурных перепадов в теплозащитных покрытиях. *Проблемы прочности*. №4. 126-130. (1998).
3. Ляшенко Б.А., Шаривкер С.Ю., Цыгулев О.В. и др. Методика определения механических характеристик композиции металл-защитное покрытие. *Проблемы прочности*. № 8. 113-115. (1989).

УДК 621.382.2

Фролов О.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
iskanderfrolov52@gmail.com

Селіверстова С.Р., канд. техн. наук

Селіверстов І.А., канд. техн. наук

Херсонська державна морська академія, ussr28031972@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ДОМІШОК У ДРЕЙФОВИХ N-P-N ТРАНЗИСТОРАХ

Особливе місце серед дискретних приладів займають транзистори, які в апаратурі дозволяють не тільки збільшувати сигнали, але і здійснювати плавне і точне регулювання електричних сигналів. Параметри та характеристики дрейфових транзисторів безпосередньо пов'язані з розподілом домішки у базових областях транзисторів.

Розроблені методики розрахунку реального розподілу домішки бору в базі вимагають даних про дозу домішки бору, про температуру та час процесу розгонки домішки, про товщину оксиду над базовою областю, про середовище, в якому проводиться розгін домішки [1]. Однак, при попередньому розрахунку параметрів розподілу домішки за заданими параметрами та характеристиками транзистора, що проводиться за методикою, наведеною в [2], ці дані відсутні. Більшість цих даних визначається за даними розрахунку розподілу домішки в базі. Реальний розподіл домішки бору в базових областях n-p-n транзисторів відрізняється від теоретичного за рахунок прояву ефекту перерозподілу домішки на межі розділу Si-SiO₂ і через вплив коефіцієнта сегрегації [3]. Ці ефекти призводять до того, що частина домішки бору, якою формують базову область при термічному окисненні, йде в шар окислу кремнію, що росте. Внаслідок цього реальна поверхнева концентрація бору стає меншою, ніж за теоретичним розрахунком.

Для визначення залежностей параметрів та характеристик дрейфового біполярного n-p-n транзистора від розподілу домішки в базі проведено експериментальні дослідження за різних технологічних режимів створення транзисторів.

Були використані кремнієві пластини з різними питомими опорами (ρ_{ep}) епітаксійних шарів. Формування базових областей проводилося після фотолітографії під базові області різними дозами бору (Q_b) за допомогою іонного легування на установках іонного легування типу «Везувій -3М» з подальшим перерозподілом домішки (розгін домішки) за різних високих температур (T_p) та різних часів (t_p). Дифузія фосфору на формування