

УДК 629.735.015.4.017.1/018.4-03:620.178.38:513.6

С.С. Дубровський, асп.

МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ

Обґрунтовано ефективність запропонованих методів термомеханічного навантаження зразків під час випробувань жароміцних матеріалів на термоциклічну довговічність.

Efficiency of the offered methods of termomekhanicheskogo lading of standards is grounded at the tests of heatproof materials.

Вступ

Підвищення надійності і збільшення ресурсу газотурбінних двигунів є частиною проблеми безпеки і регулярності руху транспорту, а також економічної його ефективності. Натепер стоїть завдання значного збільшення термінів служби літаків, їх двигунів з одночасним забезпеченням високої безпеки польотів. Для скорочення часу отримання інформації за наслідками стендових випробувань і для прискореного доведення двигунів на ресурс доцільно проводити прискорені еквівалентні випробування. Проблема прискорених випробувань на ресурс не обмежується проведенням еквівалентних випробувань двигунів. Вона включає також вивчення закономірностей зміни характеристик матеріалів залежно від умов навантаження міцності основних вузлів і деталей, вплив технології виготовлення деталей та їх конструктивної форми на ресурс [1]. Функціональна надійність передусім визначається характеристиками міцності матеріалу конструктивного елемента, величинами навантажень на нього і законами зміни цих характеристик у часі, поданими в імовірнісно-статистичному аспекті. Знаючи закономірності зміни характеристик міцності та навантаження в часі, можна з наперед заданою вірогідністю визначити момент часу, коли міцність буде дорівнювати напругам, викликаним навантаженням, тобто відбудеться руйнування.

Аналіз досліджень

Першими дослідженнями міцності та деформаційної здатності матеріалів в умовах теплових і повзучості є дослідження В.О. Лихачова і Г.О. Малигіна [2; 3]. У розробку систематизації накопичених на той час відомостей значний внесок зробили радянські школи дослідників, керовані Л.П. Лозицьким, М.Д. Кузнецовим, Г.С. Пісаренко, Ю.І. Работновим, І.А. Біргером, С.В. Серенсом [1–7].

Найпоширенішим методом експериментальних досліджень, що дозволяє вимірювати й аналізувати деформований і напружений стан зразків, є метод американського вченого Коффіна.

© С.С. Дубровський, 2008

Цей метод порівняно простий, дозволяє всебічно досліджувати і достатньо точно задавати параметри теплового і напруженого станів.

У роботах І.О. Володимирова і Г.М. Третяченко [4; 5] переконливо показана майже лінійна залежність вичерпання несучих здатностей лопаток газових турбін від кількості нестационарних режимів, особливо "запуск – різка зупинка", які, як показано експериментально [4], у 2 і 2,4 разу небезпечніші, ніж режими "запуск – випробування – зупинка" і "зліт". Цим підтверджується висловлена в роботі [4] можливість і необхідність подальшого розвитку методів оцінювання довговічності матеріалів і конструктивних елементів, що працюють в екстремальних умовах, на основі гіпотези лінійного підсумовування пошкоджень [4–7].

Постановка завдання

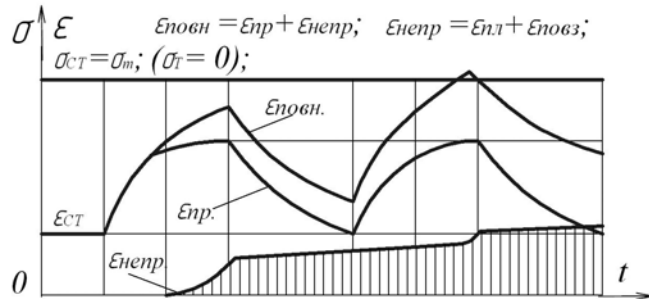
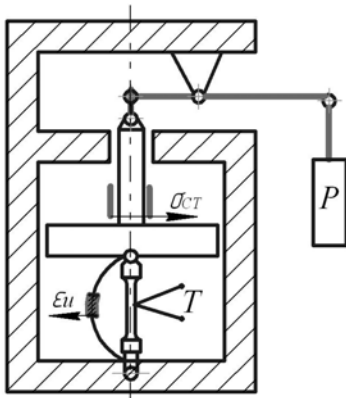
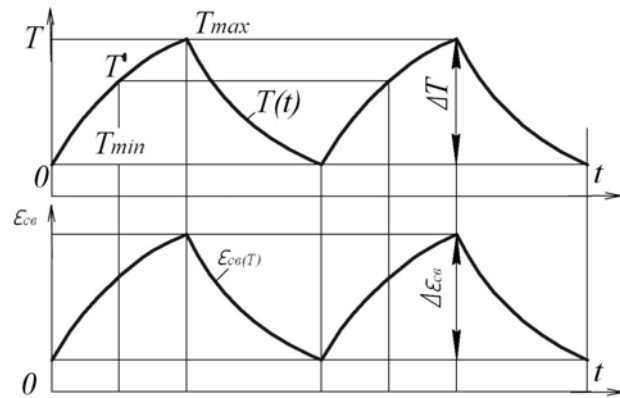
Проведений аналіз літературних джерел [1–7] показав що з упровадженням нових матеріалів у наш час вимагають свого подальшого розвитку й уточнення розрахунково-теоретичні залежності для визначення довговічності матеріалів і деталей у вказаних умовах навантаження і не повною мірою відпрацьовані єдині (стандартні) методи випробувань матеріалів, способи і пристрої для навантаження, а також методи оброблення і подання результатів експериментальних досліджень [5–7].

Мета дослідження – пошук універсальних серед відомих методів термоциклічних випробувань на термомеханічну втому, реалізованих в одній експериментальній установці [7].

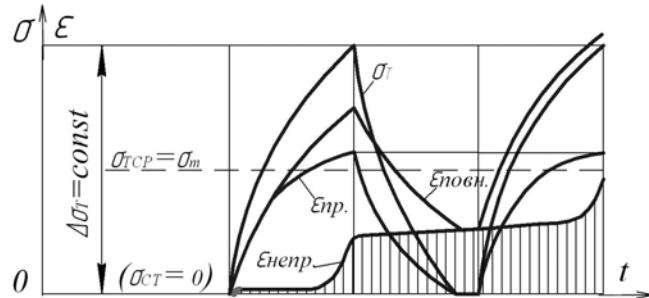
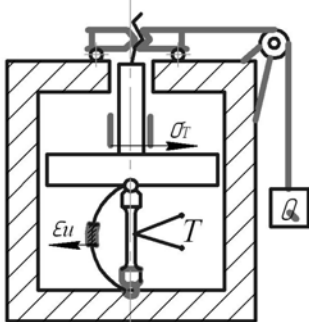
Методи термомеханічного навантаження зразків під час випробувань

Одним з найбільш універсальних серед відомих методів термоциклічних випробувань є метод випробування на термомеханічну втому, реалізований в експериментальних установках [2; 3].

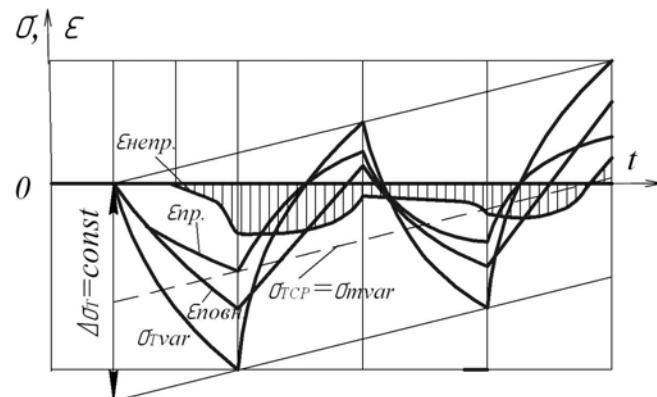
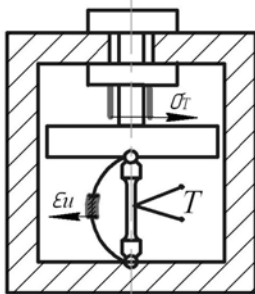
Він передбачає як двостороннє затискання зразка за схемою Коффіна (див. рисунок, в) з визначеною, заздалегідь заданою жорсткістю, так і програмне його навантаження статичними навантаженнями на розтягування і стиснення у процесі термоциклоування (див. рисунок, а).



a



б



в

Кінематичні схеми і графіки термомеханічного роздільного навантаження:

a – статистичними $\sigma_{ср}$;

б – термічними σ_T (НД);

в – термічними σ_T Коффіна

Проте за такого методу, як і в схемі Коффіна, внаслідок незмінності початкових умов затискання зразка в процесі випробування і неминучості накопичення пластичних деформацій під впливом циклічних температур і напруг змінюється початкова робоча довжина і діаметр матеріалу зразка, внаслідок чого також змінюються екстремальні рівні й асиметрія термомеханічних напружень [7]. Запропоновані в роботі [7] і цій роботі методи асиметричного термомеханічного навантаження зразків матеріалів позбавлені цього недоліку. Основна і принципова відмінність цих методів від відомих – можливість стабілізації в процесі випробувань параметрів циклу термомеханічних напруг, що задаються в широкому діапазоні їх зміни. З метою стабілізації рівнів термомеханічних напружень, спільно з пристроєм статичного навантаження на розтягування або стиснення (див. рисунок, а), застосовано слідкувальний пристрій автоматичного одностороннього затискання (затруднення вільних теплових деформацій) зразка матеріалу в кожному напівциклі нагрівання або охолодження (див. рисунок, б). *Випробування на тривалу міцність за циклічно змінних температур.* Для виконання випробувань (див. рисунок, а) слідкувальний пристрій автоматичного затискання зразка відводиться від площини діафрагми, внаслідок чого вантаж P буде постійно діяти на зразок матеріалу, викликаючи в ньому статичні напруження розтягування або стиснення $\sigma_{ст}$. У напівциклі підвищення температури до T_{max} зразок матеріалу вільно подовжується на величину $\Delta\epsilon_b$. При цьому відповідно до зменшення модуля пружності матеріалу E росте пружна складова деформації:

$$\epsilon_{пр} = \sigma_{ст} / E,$$

а з деякого значення температури T починається прискорене зростання непружної деформації $\epsilon_{непр}$, що складається з пластичного компонента $\epsilon_{пл}$ і деформації повзучості $\epsilon_{повз}$.

При охолодженні зразка до температури T_{min} зростання і накопичення непружних складових $\epsilon_{непр}$ сповільнюється або припиняється зовсім, а пружна $\epsilon_{пр}$ і вільна тепла $\epsilon_b(T)$ деформації повертаються до початкового рівня. Отже, до початку наступного циклу повна деформація $\epsilon_{пов}$ складається з величини, накопиченої за високих температур циклу непружної деформації $\epsilon_{непр}$ і деформації від статичного навантаження $\epsilon_{ст}$.

Випробування на термічну втому методом накопичення деформацій. Для випробувань (див. рисунок, б) методом накопичення деформацій (НД)

слідкувальний пристрій автоматичного одностороннього затискання зразка матеріалу встановлюється на зовнішню або внутрішню відносно до зразка площину пружної діафрагми і до нього не прикладаються ніякі зовнішні сили. Під час термоцикування слідкувальний пристрій здійснює автоматичне затискання зразка в напівциклі охолодження або нагрівання, викликаючи виникнення в ньому термічних напружень розтягування або стиснення. При цьому відбуватиметься накопичення в зразку залишкових деформацій розтягування або стиснення $\epsilon_{непр}$ (див. рисунок, б).

Випробування на термічну втому за методом Коффіна. Випробування (див. рисунок, в) забезпечуються жорстким кріпленням динамометричної тяги до діафрагми гайками на обох її площинах. Зображені на рисунку (в) графіки процесу деформації зразка під час випробувань за методом Коффіна відображають відомий факт нестабільності циклу термічних напруг, яка є істотним недоліком цього методу ($\sigma_{Тср} = \sigma_m var$).

Висновки

Запропоновані методи циклічного термомеханічного навантаження зразків мають значні переваги порівняно з відомими. Вони забезпечують стабілізацію параметрів циклу термомеханічних напружень, що дозволяє одержувати достовірні дані про їх вплив на довговічність матеріалів. Крім того, ці методи дають можливість у вельми широких межах змінювати асиметрію циклу напружень σ_m , які можуть охопити всі реально існуючі випадки [7].

Література

1. Кузнецов Н.Д., Цейтлин В.И. Эквивалентные испытания газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
2. Баландин Ю.Ф. Термическая усталость металлов. – Л.: Судопромгиз, 1967. – 272 с.
3. Бычков Н.Г. Испытания материалов на термическую усталость при действии статической загрузки // Зав. лаб. – 1970. – Т. 36, № 5. – С. 591–595.
4. Третьяченко Г.Н., Кравчук Л.В., Курият Р.И., Волощенко А.П. Несущая способность лопаток газовых турбин. – К.: Наук. думка, 1975. – 290 с.
5. Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Прочность материалов и элементов конструкции в экстремальных условиях. – К.: Наук. думка, 1980. – Т. 1. – 535 с.
6. Усталость жаропрочных сплавов и рабочих лопаток ГТД / Б.А. Грязнов, С.С. Городецкий, Ю.С. Налимов и др. / отв. ред. В.Т. Трошенко. – К.: Наук. думка, 1992. – 264 с.
7. Ветров А.Н., Ковешников Н.А. Исследование долговечности жаропрочных сплавов. – К.: 1986. – С. 41–45.

