

А. Р. Ибрагимов

Набережночелнинский филиал Казанского федерального университета, г. Набережные Челны
ibragimov.a.r@mail.ru,

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ
ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ**

Технологии контроля жизненного цикла изделий приобрели массовый характер за счет возможности сбора большого массива данных и обработки в режиме онлайн. Таким образом, достигается разумное использование контролируемых изделий и экономия на предотвращении аварии, разрушений. Данного рода исследования коснулись и газотермических покрытий. В работе представлены алгоритмы моделировании разрушения покрытий на основе созданного программного обеспечения, позволяющего рассчитывать остаточный ресурс, исходя из знаний способа накопления напряжений и предельных значений, при которых газотермические покрытия разрушаются.

Ключевые слова: газотермические покрытия, остаточный ресурс, программное обеспечение, 4-х точечный изгиб.

A. R. Ibragimov

MODELING OF THE DESTRUCTION OF GAS-THERMAL COATING

Technologies for controlling the life cycle of products have acquired a massive nature through the ability to collect a large array of data and processing online. Thus, reasonable use of controlled items and savings on accident prevention, destruction is achieved. This of research has also touched on gas-thermal coatings. In this paper, algorithms for modeling the destruction of these coatings are presented.

Key words: gas thermal coatings, residual life, software, 4-point bending.

Исследование газотермических покрытий в настоящее время распространено в связи с развитым применением покрытий во многих отраслях промышленности, в основном в авиадвигателестроении, нефте-газовой промышленности и машиностроении. Используются газотермические покрытия для теплозащиты, против коррозии, с целью упрочнения и для достижения ряда других параметров. В рассматриваемом нами авиастроении покрытия применяются на лопатках, форсунках камеры сгорания, в кожухе газотурбинного двигате-

ля, 85 % деталей имеют защитные покрытия [1]. Детали с газотермическим покрытием работают в условиях под 1000°. Поэтому потребность в их исследовании очень высокая, но существующее в настоящее время технологии определения механических свойств покрытий мало информативны, не учитывают, например, напряжения, закладываемые в процессе плазменного напыления. При этом напряжения в покрытиях влияют на адгезионно-когезионные связи в многослойных покрытиях, увеличиваются по мере толщины покрытия, влияют на прочность сцепления и на ряд других характеристик [2–4].

В рамках данной работы разрабатывалось программное обеспечение с алгоритмом расчета остаточного ресурса газотермического покрытия с моделированием разрушения покрытия. Материалом покрытия являлся диоксид циркония, частично стабилизированный иттрием ($ZrO_2-6-8Y_2O_3$), с оптимальным диапазоном толщины покрытия 0,25–0,45 мм.

Были поставлены задачи: рассчитать накопление пластических деформации при различных нагрузках при 4-х точечном изгибе, определить предельные значения деформируемости покрытий и разработать математическую модель. При этом проект усложнялся тем, что покрытия используются при высоких температурах. В результатах экспериментов имеются данные по влиянию высоких температур, но в математической модели эти данные должны быть корректными и учитывать многоцикловые нагрузки.

Теоретической основой расчета остаточного ресурса газотермических покрытий является процесс накопления пластических деформаций при любых воздействиях на покрытие. При этом в самом покрытиях имеются заложенные в процессе плазменного напыления напряжения.

Испытания покрытий диоксида циркония для определения деформационных свойств проводились при 4-х точечном изгибе по представленной на рис. 1. Для автоматизации процесса был разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК).

В качестве нагружающего устройства использовалась разрывная машина FPZ 100/1, позволяющая определять свойства прочности и пластичности материалов при растяжении. Аппаратная часть комплекса состоит из портативного крейта, двух модулей, двух кроссировочных плат с кабелем. Для обработки результатов разрабатывалось программное обеспечение.

Эксперименты осуществлялись в следующем порядке: образцы выдерживались в печи при 1100 °С от 1 до 100 ч, далее испытывались при 4-х точечном изгибе в упругой (до 400 Н с разгрузкой), упруго-пластической (до 800 Н с разгрузкой) и в пластической области деформации

(до 1200 Н с разгрузкой), а также до разрушения покрытия. При этом каждый цикл нагружения мог быть многократным, таким образом, получались значения для образцов с различной температурной выдержкой и при разных режимах испытаний. У 400, 800, 1200 Н — свои значения пластической деформации. Рассматривался и характер накопления пластических деформаций в зависимости от изотермической выдержки. Благодаря этому разработана математическая модель на основе уже известных алгоритмов расчета напряжений в покрытиях.

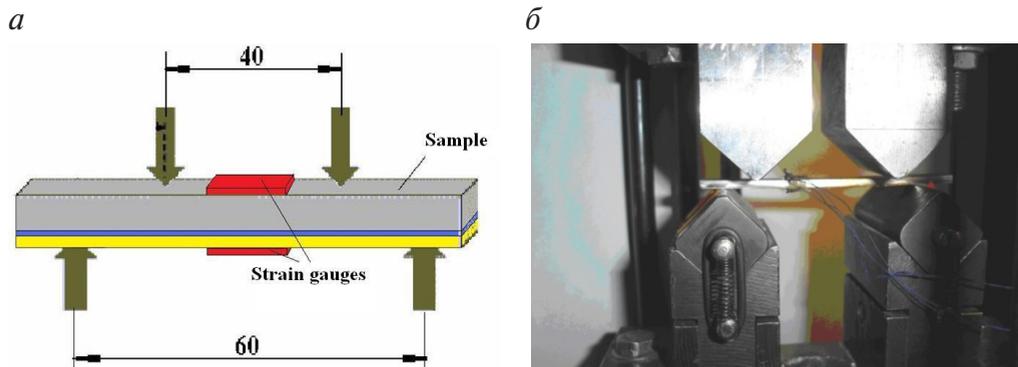


Рис. 1. Схема 4-х точечного изгиба:

a — схема нагружения; *б* — схема установки в сборе

Образцы также сразу после напыления подвергались производственной одинарной и двойной термообработке. Одинарная — диффузионный отжиг в вакууме при температуре 1050 °С в течение 4-х ч для восстановления объемных свойств материала основы; двойная — к предыдущей термообработке дополнительно окислительный отжиг на воздухе при температуре 850 °С в течение 2-х ч для восстановления стехиометрического состава оксида циркония в покрытиях.

Полученные при деформации образцов сигналы из тензодатчиков подавались в программу в милливольтгах, далее тарировались в микрометры для расчета абсолютных значений. На базе этих данных строилась математическая модель работы программного обеспечения.

В ходе обработки результатов экспериментов были рассчитаны средние значения скорости накопления деформации газотермических покрытий. Эти данные были учтены в программном обеспечении следующим образом: за каждый цикл 4-х точечного изгиба при 400 Н к значению деформации прибавляется 0,25 %. Аналогично при 800 Н прибавляется 0,5 % за каждый цикл, при 1200 Н прибавляется 0,75 %. Фиксировалась скорость, с которой разрушались газотермические покрытия при различных режимах испытаний.

По результатам комплексных исследований на 4-х точечный изгиб было разработано программное обеспечение с алгоритмом расчета остаточного ресурса газотермического покрытия с моделированием разрушения покрытия, что позволяет прогнозировать его работоспособность в зависимости от того, какие нагрузки были оказаны на покрытие.

Выражается огромная благодарность за поддержку Фонду содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере РФ в рамках договора № 1521 ГС2/23943.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Иноземцев А. А., Сандрацкий В. Л. Газотурбинные двигатели. Пермь : Авиадвигатель, 2006. 1204 с.
- 2 Measurement of Coatings' Elastic Properties by Mechanical Methods: Part 1. Consideration on Experimental Errors / M. Beghini [et al.] // Experimental Mechanics. 2001. V. 41. № 4. P. 293–304.
- 3 Measurement of Coatings' Elastic Properties by Mechanical Methods: Part 2. Application to Thermal Barrier Coatings / M. Beghini [et al.] // Experimental Mechanics. 2001. V. 41. № 4. P. 305–311.
- 4 Berndt C. C., Kucuk A., Dambra C. G. Influence of plasma spray parameters on behavior of yttrium stabilized zirconium the cracking coatings // Practical failure analysis. 2001.V. 1. P. 55–64.