

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ СТОЛБЧАТОЙ СТРУКТУРЫ НА СОПЛОВЫХ ЛОПАТКАХ ТУРБИН И СЕГМЕНТАХ ЖАРОВЫХ ТРУБ КАМЕР СГОРАНИЯ С УЧЕТОМ СИЛ ТРЕНИЯ МЕЖДУ КЕРАМИЧЕСКИМ СЛОЕМ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПОТОКОМ

Бычков Н.Г., Хамидуллин А.Ш., Першин А.В.

ФГУП «Центральный Институт Авиационного Моторостроения им. П.И. Баранова», г. Москва

Использование керамических теплозащитных покрытий (ТЗП) является одной из ключевых технологий совершенствования газовых турбин и камер сгорания авиационных двигателей. Низкая теплопроводность и высокая рабочая температура этих покрытий позволяют снизить температуру основного материала на 100...150 °С, значительно увеличить долговечность детали.

В настоящее время наиболее часто применяются ТЗП на основе двуокси циркония, стабилизированного оксидом иттрия ($ZrO_2 + 5-9\%Y_2O_3$). Широко применяемым методом нанесения керамических ТЗП на «горячие» детали двигателя является электронно-лучевая технология, которая позволяет получать структуру покрытия, состоящую из керамических столбиков диаметрами от 0,5 до 2 мкм. В отличие от наиболее распространенной методики плазменного напыления, столбчатые керамические ТЗП обладают наибольшей термоциклической долговечностью при сопоставимых значениях теплопроводности [1].

Однако в эксплуатации наблюдается выкрашивание столбчатого ТЗП на высоте 10...15 мкм от основания волокон [2], которое ни один из существующих механизмов не объясняет.

В связи с этим авторами статьи была предложена модель разрушения столбчатого керамического ТЗП [3]. Суть этой модели состоит в том, что керамические столбики ТЗП подвержены изгибу (рис. 1) от действия эксплуатационных нагрузок. На неподвижных деталях газового тракта столбики изгибаются силами трения от высокотемпературного газодинамического потока.

Согласно разработанной модели, была произведена расчетная оценка напряженно-деформированного состояния столбчатого керамического ТЗП на высоте 10 мкм от основания волокон для сопловых лопаток турбин и сегментов жаровых труб камер сгорания (КС) с учетом действия сил трения, возникающих между покрытием и газовым потоком. Расчеты были проведены для условий нагружения, соответствующих режимам работы деталей перспективного ТРДД.

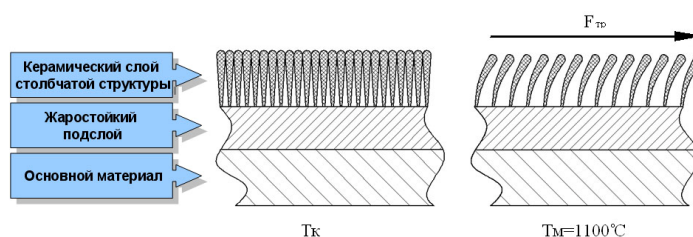


Рис. 1 Схема изгиба керамического столбчатого ТЗП от действия эксплуатационных нагрузок: T_k и T_m — климатическая и рабочая температура основного материала детали, F — сила трения между покрытием и газодинамическим потоком, действующая на столбик

Проведенные расчеты напряженно-деформированного состояния ТЗП показали, что на высоте 10 мкм от основания волокон возникающие изгибные напряжения от сил трения между керамическим слоем и газо-

вым потоком в конических столбиках ТЗП значительно превышают (примерно в 13 раз) аналогичные напряжения в цилиндрических столбиках ТЗП.

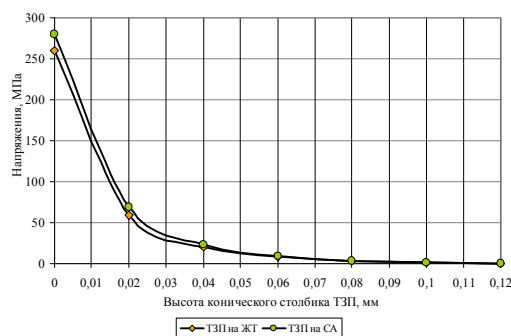


Рис. 2. Максимальные напряжения по высоте конических столбиков ТЗП толщиной 120 мкм

При толщине покрытия 120 мкм максимальные напряжения в конических столбиках на высоте 10 мкм от основания волокон на сопловой лопатке достигают 170 МПа, в сегменте жаровой трубы КС – 157 МПа (рис. 2). Возникающие изгибные напряжения превышают предел прочности керамики на растяжение, и могут привести к выкрашиванию столбчатого ТЗП на указанной высоте.

В связи с этим, на этапе проектирования необходимо проводить расчетную оценку напряженного состояния столбчатого керамического теплозащитного покрытия с учетом условий работы детали, а также характеристик самого покрытия. Стоит обратить внимание, что повреждение ТЗП посторонними частицами, содержащимися в высокоскоростном газодинамическом потоке, может привести к многократному увеличению коэффициента трения, что незамед-

лительно отразится на напряженном состоянии столбчатого ТЗП и его долговечности.

Библиографический список

1. Н.В. Абраимов // Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин // М.: Машиностроение, 1993. - 336с.
2. А.Ф. Белявин, В.И. Топал // Теплозащитные покрытия лопаток ГТД, Получаемые электроннолучевым испарением и конденсацией в вакууме: коммерческое применение и перспективы // Сборник тезисов докладов II Международной научно-технической конференции «Авиадвигатели XXI», том3. –М.: ЦИАМ, 2005. – с.231-233.
3. Бычков Н.Г., Першин А.В., Равилов Р.Г., Павлов Ю.И. // Условия работы и разрушения керамических теплозащитных покрытий, нанесенных по электронно-лучевой технологии // Научные труды. Выпуск 15(87).- М.: МАТИ, 2009. с.52-56.

УДК 621.9.08

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ, С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «КОЛЬЦО»

Чевелева А.О., Болотов М.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

Координатный метод измерения основан на дискретной замене реальных поверхностей деталей путем контроля конечного числа точек на них. Условно суммарную погрешность контроля можно разделить на: инструментальную погрешность КИМ и методическую. Последняя зависит от количе-

ства контролируемых точек, особенно при выявлении отклонения формы. С увеличением вышеупомянутых точек увеличивается точность вписывания заменяющего элемента, однако также повышается время этапа контроля. Необходимость нахождения баланса между затратами ресурсов (финансо-