

Разработка перспективных методов экспериментальных исследований конструкционных керамических и композиционных материалов

М.А. Мезенцев, Б. Мыктыбеков, Д.С. Пальчиков, А.В. Синицын, А.А. Луппов, Д.В. Афанасьев,
С.В. Воробьев
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», Москва

Производилась разработка и отработка новых методов испытаний, средств измерений, типов образцов, экспериментальной оснастки и др. с целью получения расчетных значений характеристик керамических и композиционных материалов при высоких температурах. В результате разработаны опытный образец из слоистых композиционных материалов для испытаний на растяжение в направлении толщины и метод определения предела прочности при растяжении керамических и композиционных материалов с нагревом образца до заданной температуры с определенной скоростью при помощи инфракрасных тороидальных ламп.

Development of promising methods for experimental studies of structural ceramic and composite materials

M.A. Mezentsev, B. Myktybekov, D.S. Palchikov, A.V. Sinityn, A.A. Luppov, D.V. Afanasyev, S.V. Vorobyev
CIAM, Moscow, Russia

Work has been carried out on the development and refinement of new test methods, measuring instruments, types of samples, experimental equipment, etc. in order to obtain calculated values for the characteristics of ceramic and composite materials at high temperatures. As a result, a prototype of laminated composite materials for tensile testing in the thickness direction and a method for determining the ultimate tensile strength of ceramic and composite materials with heating the sample to a given temperature at a certain rate using infrared toroidal lamps were developed.

1. Введение

Для перспективных деталей и узлов горячего тракта газогенератора авиационного двигателя предъявляются высокие требования к конструкции и характеристикам материалов, которые должны обеспечивать следующие параметры: рабочая температура до 1500°C, стойкость к высоким перепадам температуры, возникающим при нагреве и охлаждении двигателя, статическая кратковременная прочность 250...300 МПа при температуре выше 1000°C, высокий коэффициент теплопроводности, высокие характеристики ударной вязкости и большое сопротивление развитию трещин. Конструкция должна компенсировать различные температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) в местах крепления узлов с ответными металлическими деталями.

Для определения некоторого перечня приведенных выше характеристик перспективных конструкционных материалов и конструкций авиационного двигателя необходимо проведение большого объема экспериментальных исследований. При этом необходимо постоянное развитие различных видов экспериментальных исследований, средств измерений,

удовлетворяющих требованиям квалификационных испытаний материалов и деталей и обеспечивающих их проведение.

В ЦИАМ разрабатываются новые методы испытаний, средства измерения, типы образцов, экспериментальная оснастка и др. с целью получения расчетных значений характеристик керамических и композиционных материалов при высокой температуре.

2. Разработка слоистого образца из композиционного материала

Понимание механического поведения композиционных материалов (КМ) при нагружении, знание характеристик физических свойств конструкционных материалов, таких как модуль упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона, является основой для применения их в качестве конструкционных материалов. Хотя композиционные материалы анизотропны по своей природе, во многих случаях их свойства предполагаются однородными с точки зрения макромеханики, и в расчет принимаются усредненные механические свойства, что приводит к их неэффективному применению. В случае рассмотрения

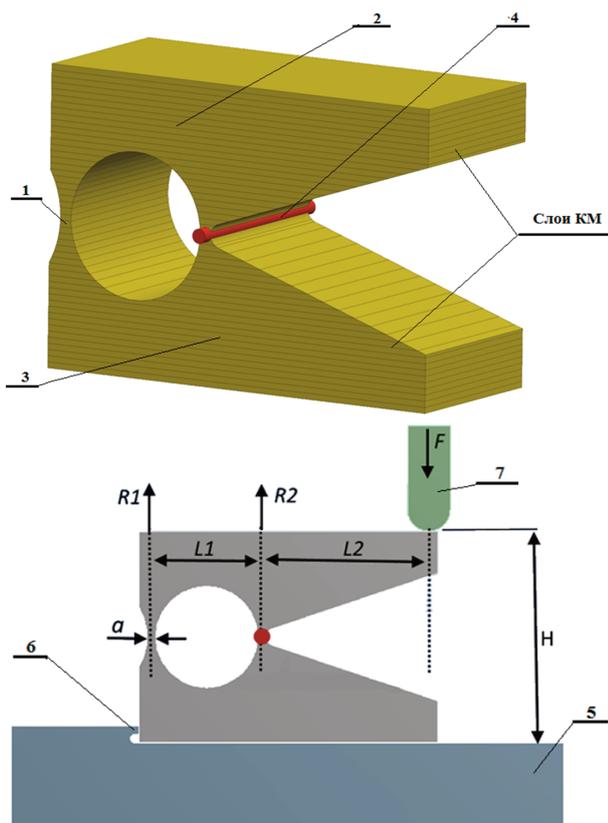


Рис. 1. Образец из слоистых композиционных материалов для испытаний на растяжение в направлении толщины

трансверсально-изотропной структуры КМ (направления в плоскости изотропии и нормальное направление к плоскости изотропии, или трансверсальное направление) описание линейной связи между напряжениями и деформациями трансверсально-изотропного композиционного материала при плоском напряженном состоянии необходимо иметь шесть упругих постоянных. Наиболее трудно реализуемым и практически невыполнимым является определение упругих и прочностных свойств КМ в направлении толщины КМ (трансверсальное направление). Для определения упругих и прочностных характеристик в этом направлении невозможно изготовить длинные стандартные образцы, в связи с чем необходимо другое исполнение образцов.

Разработанный образец из слоистых композиционных материалов для испытаний на растяжение в направлении толщины [1] представляет собой пластину, включающую захватные части и расположенную между ними рабочую часть (1). При этом захватные части выполнены в виде параллельно расположенных соответствующих балок (2) и (3), оси которых перпендикулярны оси рабочей части образца. Один конец каждой из балок жестко связан с соответствующим концом рабочей части образца, а

свободные концы предназначены для взаимодействия с нагружающим устройством (на чертеже не показана). Образец снабжен опорой (4), размещенной между балками (2) и (3) в средней их части и предназначенной для взаимодействия с последними (рис. 1). Опора может быть выполнена шарнирной, в виде металлической, керамической пластины или в виде слоя адгезионного материала, закладываемого между балками в процессе изготовления образца. Кроме того, при определении упругих характеристик исследуемого слоистого композиционного материала опора может быть выполнена в виде перемычки из материала образца, жестко связанной с балками.

3. Метод определения предела прочности при растяжении керамических и композиционных материалов

Определение упругих характеристик материалов достигается за счет того, что при осуществлении способа определения предела прочности при растяжении керамических и композиционных материалов, включающего нагрев образца до заданной температуры с определенной скоростью, выполняется при помощи инфракрасных тороидальных ламп [2].

Плоский образец (1) из керамического или конструкционного материала с рабочей зоной (2), которая составляет 5...10 мм, закрепляют в захватах (3, 4) нагружающего устройства, при этом размещают нагреватели, выполненные в виде инфракрасных тороидальных ламп (5). В процессе нагрева фокусируют тепловые лучи (6) инфракрасных

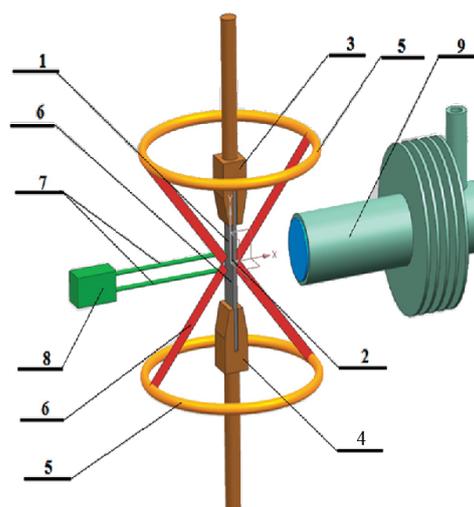


Рис. 2. Схема испытаний для определения предела прочности при растяжении керамических и композиционных материалов

тороидальных ламп под углом $15...75^\circ$ на ограниченной рабочей зоне плоского образца. Высокая скорость теплового излучения инфракрасных тороидальных ламп позволяет расширить диапазон скорости нагрева рабочей зоны плоского образца от 50 до $1500^\circ\text{C}/\text{с}$. Измерение деформации плоского образца выполняется в границах рабочей зоны при помощи щупов (7) высокотемпературного контактного экстензометра (8), а измерение температуры рабочей зоны плоского образца осуществляется при помощи тепловизора (9) (рис. 2).

4. Заключение

В результате разработан:

– образец из слоистых композиционных материалов для испытаний на растяжение в направлении толщины и выпущен патент [1];

– метод определения предела прочности при растяжении керамических и композиционных материалов и выпущен патент [2].

Список использованных источников

- [1] Образец из слоистых композиционных материалов для испытаний на растяжение в направлении толщины образца : патент RU 2798326 / Мыктыбеков Б., Луппов А.А., Мезенцев М.А., Пальчиков Д.С., Афанасьев Д.В. ; заявитель ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова». 20.12.2022.
- [2] Способ определения предела прочности при растяжении керамических и композиционных материалов : RU патент 2794108 / Мыктыбеков Б., Луппов А.А., Мезенцев М.А., Пальчиков Д.С. ; заявитель ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова». 07.10.2022.