

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ «МЕДЛЕННОГО» РОСТА ПОВРЕЖДЕНИЙ
В МОНОЛИТНОЙ КЕРАМИКЕ
И КЕРАМИЧЕСКОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ**

© 2018 Т.Д. Каримбаев

Центральный институт авиационного моторостроения им.П.И. Баранова, г. Москва

MATHEMATICAL MODEL OF "SLOW" GROWTH OF DAMAGES IN MONO-LITHE CERAMIC AND CERAMIC COMPOSITE MATERIALS

Karimbayev T.D. (Central Institute of Aviation Motors by P.I. Baranov, Moscow, Russian Federation)

For the transversely isotropic ceramic composite matrix with variable elasticity parameters, all five determining curves of deformation are constructed. The analysis of published experimental deformation curves of CMCs and their qualitative comparisons with analytically obtained results are carried out.

Тугоплавкость конструкционной керамики привлекает внимание специалистов в области авиационных двигателей. Проведено большое число исследований с целью освоить высокие рабочие температуры в турбинах применением керамического материала. Хрупкость керамики и непредсказуемость возможных разрушений оказались практически непреодолимым препятствием при их использовании в силовых конструкциях.

Керамические композиционные материалы (ККМ) обладают повышенной по сравнению с монолитной керамикой вязкостью разрушения, но их матрица – это та же «непредсказуемая» керамика.

В работе предполагается, что конструкционная керамика содержит множество случайно распределённых ультрамелких пор, статистически выраженный трёхпараметрическим законом Вейбулла для распределения напряжений. Развитие пор в поле напряжений принято в виде степенного закона. На базе этих предположений построено уравнение, связывающее уровень главных деформаций ε_1 с текущей пористостью p .

$$\varepsilon_1 - (1-p)\sigma_0 / \mathcal{E}^*(p) = [(1-p)\sigma_u / \mathcal{E}^*(p)] \{ (V_0/V) \ln[1-(p-p_0)/(1-p_0)]^\theta \}^{1/\chi}.$$

Здесь $\mathcal{E}^*(p)$ – переменный параметр упругости, σ_0 , σ_u и χ – параметры, V_0/V – масштабный фактор в трёхпараметрическом распределении Вейбулла; p_0 – начальная пористость и θ – показатель степени в уравнении баланса пор.

Решение нелинейного уравнения (1) при достигнутой ε_1 определяет текущую пористость p и соответствующий переменный параметр упругости $\mathcal{E}^*(p)$. Обобщенный закон Гука для упруго-пористой среды позволяет установить соответствующее значение напряжений σ и получить точку на кривой $\sigma \sim \varepsilon_1$. Таким образом, для всех допустимых деформаций построены кривые зависимости гидростатического давления σ от средней деформации ε и интенсивности напряжений s_i от интенсивности деформаций ε_i , отражающие, в том числе, этап «медленного» роста статистически распределённых повреждений.

Для трансверсально-изотропного ККМ с керамической матрицей с переменными параметрами упругости построены все пять определяющих кривых деформирования.

Проведён анализ опубликованных экспериментальных кривых деформирования ККМ и качественные их сравнения с аналитически полученными в работе результатами.