

Методика включает следующие этапы:

экспериментальное определение "вторичных" характеристик несущей способности лопаток, где предисторией является различное время эксплуатации;

статистическая обработка результатов стендовых испытаний, построение уравнений регрессии "вторичных" характеристик и предельной поверхности несущей способности лопаток в координатах "несущая способность - время наработки - количество циклов до разрушения".

экспериментально-расчетное определение типовой программы нагружения лопаток и представление нагрузки в виде блоков распределения нагрузок с объемами, позволяющими различать сдвиг "вторичных" характеристик по параметру повреждаемости.

экстраполяция предельной поверхности несущей способности лопаток по координате "время наработки" и оценка повреждающего действия текущего блока по соответствующей экстраполированной "вторичной" характеристике.

последовательное суммирование повреждающего действия типовых блоков ( $\Delta D_i < \Delta D_{i+1}$ ), определение вероятного их количества до разрушения и оценка остаточной долговечности лопаток.

методика иллюстрируется примером оценки остаточной долговечности лопаток третьей ступени турбины двигателя АИ-20К.

Г.Ф.ЛЕПИН, В.Т.АГУЛОВ

К РАСЧЕТУ ПОДЗУЧЕСТИ И ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ  
МАШИН РАБОТАЮЩИХ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ТЕМПЕРАТУРАХ

Рассмотрены результаты экспериментального исследования подзучести и длительной прочности конструкционных сталей и сплавов при ступенчато изменяющихся температурах. Анализ результатов позволил сформулировать гипотезу суммирования повреждаемостей в металлических материалах при переменных температурах. Аналитически эта гипотеза выражается соотношением

$$F = \frac{F_0}{1 + \sum K_i \Delta \varepsilon_i} \quad /I/$$

- где  $F_0$  и  $F$  - начальная и текущая истинная площадь поперечного сечения образцов;  
 $\Delta \varepsilon_i$  - приращение относительной пластической деформации образца при некоторой температуре  $T_i$ ;  
 $K_i$  - значение фактора повреждаемости материала при той же температуре.

Получена также зависимость эффективной деформации  $\varepsilon_{эф}$ , определяющей степень деформационного упрочнения при заданной температуре  $T$ , от величины предварительной деформации, достигнутой при иной температуре  $T_i$

$$\varepsilon_{эф} = \beta(T_i; T) \cdot \varepsilon_i, \quad /2/$$

- где  $\beta(T_i; T)$  - коэффициент, зависящий для заданного материала от значения  $T_i$  и  $T$ .

На основе установленных зависимостей выведено уравнение ползучести при ступенчато изменяющейся температуре

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = m[\varepsilon + \beta(T_i; T)\varepsilon_i]^{1-n} \exp[\alpha\sigma_0(1 + K\varepsilon + K_i\varepsilon_i)], \quad /3/$$

- где  $\varepsilon$  и  $\varepsilon_i$  - относительные пластические деформации соответственно при температурах  $T$  и  $T_i$ ;  
 $\sigma_0$  - начальное напряжение в образце;  
 $\alpha, n, m$  - характеристики жаропрочности материала при температуре  $T$ .

Уравнение /3/ при ступенчатом повышении температуры выразило результаты эксперимента во всех рассмотренных случаях. При этом получено  $\beta > 1$ . В случае же ступенчатого понижения температуры уравнение /3/ дало хорошее соответствие экспериментальным данным лишь для достаточно стабильных материалов. В этом случае получено  $1 > \beta > 0$ .

Поведение метастабильных материалов оказалось, однако, более сложным. При переходе от температур, характеризующихся значительной структурной нестабильностью материала, к меньшим температурам наблюдается резкое разупрочнение его, приводящее во многих случаях к мгновенному разрушению, даже при сравни-

тельно невысоких для данного материала напряжениях. Пренебрежение указанным разупрочнением в расчете деталей, работающих при изменяющихся температурах, может привести к их внезапному преждевременному разрушению.

Таким образом, уравнение /3/ может быть использовано при расчете ползучести и длительной прочности большинства конструкционных материалов при изменяющемся температурном режиме эксплуатации. Метод же расчета поведения метастабильных материалов при достаточно высоких температурах требует дальнейшей доработки.

В.Г.ФОКИН

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИНАХ С КОНСТРУКТИВНО-ОРТОТРОПНЫМИ СЛОЯМИ

В современной технике, прежде всего авиационной, находят широкое применение пластины /листы, панели/, составленные из конструктивно-ортоотропных слоев. Из-за неоднородности свойств такие детали всегда имеют остаточные напряжения, которые могут существенно снизить их надежность. Предлагаемый способ определения напряжений основан на том, что с пластины или специального образца снимаются слои материала, изменяются прогибы или деформации и угол закручивания. По измеренным величинам рассчитывают искомые остаточные напряжения. Расчетные формулы выводятся на основе известной теории анизотропных пластин, в которой используется условие неизменяемости нормали. Для некоторых частных случаев они имеют вид системы двух интегральных уравнений Вольтерра, решать которые нужно численным методом.

Б.А.АПУХТИН

#### НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОРПУСОВ НАСОСОВ

В рамках модели жестко-пластического тела рассматривается задача определения верхней границы несущей способности для осесимметричной конструкции с поперечным сечением сложной формы, представляющей собой один из типичных элементов сосудов под давлением или высоко-нагруженных корпусов насосов.