

ШКАРАЕВ С. В. , ГЕВОРКОВ Р. Р.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
РАЗРУШЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ С ТРЕЩИНАМИ

В подкрепленных конструкциях, состоящих из многих элементов и, следовательно, имеющих нескольких путей для передачи нагрузки, процесс разрушения носит очень сложный характер. Прорастание трещины в одном элементе сопровождается повышением напряжений в другом. После разрушения элемента вследствие нестабильного роста трещин соседний элемент без трещины может разрушиться по схеме общей текучести. В процессе развития трещины увеличивается нагрузка на крепежные элементы (болты, заклепки и т. д.), приводящая к их разрушению. Сложное контактное взаимодействие элементов, трение, пластические деформации в узлах соединений влияют на напряженное состояние и кинетику разрушения. Такой механизм разрушения составных конструкций требует проведения детального моделирования с применением как теоретических, так и экспериментальных методов, что является одной из задач проводимой научно-исследовательской работы.

Рассмотрим плоскую конструкцию, состоящую из подкрепленных стрингерами панелей. В одной из панелей имеется прямолинейная трещина длиной $2l$. Панели соединены друг с другом рядом крепежных элементов. На удалении k к панелям приложены нормальные нагрузки b .

Сначала рассмотрим случай изолированной панели. В качестве крепежных элементов применяются болты, заклепки, сварные точки. Возможно полное разрушение одного или нескольких стрингеров. Задача решается в упругой постановке.

Метод решения задачи основан на дискретизации расчетной

схемы. Элементы панели отделяются друг от друга, а их взаимодействие описывается контактными усилиями. Последние определяются из условия совместности деформаций соединяемых элементов. Затем рассматривается напряженное состояние листа с трещиной, нагруженного внешней нагрузкой и симметрично расположенными относительно оси x усилиями Q_j .

При этом условии совместности деформаций i -го интервала пластины $L1$ и стрингера $S1$ с учетом упругой податливости крепежных элементов D_s имеет вид:

$$\sum_{j=1}^{\infty} (V_{ij}^{L1} - V_{i-1j}^{L1}) Q_j + \sum_{j=1}^{\infty} (V_{ij}^{S1} - V_{i-1j}^{S1}) Q_j + D_s (q_i - q_{i-1}) =$$

$$= \left[(V_i^{L1} - V_{i-1}^{L1}) - \frac{E_s}{E} (V_i^{S1} - V_{i-1}^{S1}) \right] \sigma, \quad (i=2, \dots, \infty).$$

где V_{ij}^{L1} и V_i^{L1} - перемещения i -й точки листа $L1$ от действия единичных сил, приложенных в точках j , и единичной внешней нагрузки.

Коэффициенты интенсивности напряжений в вершинах a и b трещины:

$$K^{a,b} = \sigma \bar{K}_0^{a,b} - \sum_{j=1}^{\infty} K_j^{a,b} Q_j,$$

где $\bar{K}_0^{a,b}$ и $K_j^{a,b}$ - КИН в пластине с трещиной от действия единичных нагрузок.

Функции смещений в приведенных выше выражениях находятся из решения плоских задач теории упругости. В работе получены формулы для вычисления смещений и КИН для внутренней трещины в бесконечной пластине и полуплоскости с внутренней и краевой трещинами.

На основании разработанного метода исследовано взаимо-

действие трещины с краем панели. С приближением трещины к краю прочность панели понижается. При $\lambda=0.9$ ($\lambda=l/h$) наличие свободной границы увеличивает K^a в 1.32, а K^b в 1.08 раз по сравнению с КИН в бесконечной панели.

На основании проведенного исследования можно сделать заключение, что влияние свободного края подкрепленной панели с трещиной на напряженное состояние заключается в увеличении коэффициентов интенсивности напряжений в вершинах трещины, в увеличении усилий в заклепках и стрингерах. Таким образом, прочность панели снижается, но степень снижения меньше, чем для неподкрепленного листа.

Прочность панели с краевой трещиной меньше прочности такой же панели, но с внутренней трещиной. Степень снижения прочности существенно зависит от положения вершины трещины относительно оси стрингера.

Рассмотрена задача о трещине в продольном стыке панелей. Интересно отметить, когда трещина пересекает линию соединения панелей КИН K^b практически не отличается от коэффициента интенсивности напряжений в бесконечной пластине с такой же трещиной. Это обстоятельство может оказаться полезным для расчетов и проектирования сложных конструкций.

Достоинства изложенных алгоритмов заключаются в возможности эффективной автоматизации как вычислительных операций, так и процесса формирования расчетной схемы исследуемой конструкции. Для проведения оперативных исследований параметров разрушения подкрепленных панелей на основе этих алгоритмов создан комплекс программ "Панель", который широко используется в настоящее время на ряде предприятий авиапромышленности.