

Сазанов В.П., Сургутанов Н.А., Микушев Н.Н., Письмаров А.В.

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ТРЕЩИНЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ В НАДРЕЗАННЫХ И ГЛАДКИХ ПЛАСТИНАХ

При проектировании современных инженерных конструкций, деталей и агрегатов летательных аппаратов большое внимание уделяют предельно допустимым размерам дефекта – трещине, которая в дальнейшем может привести к нарушению работоспособности конструкции. Необходимо анализировать её рост и не допустить достижения трещиной критического размера, при котором возможно разрушение конструкции. Ранее экспериментально было доказано [1, 2], что в образцах с различными видами концентратора напряжений трещина, достигая определённой длины $t_{кр}$, названной критической, становится нераспространяющейся [3-5]. В данном исследовании было изучено, как меняется коэффициент интенсивности напряжений K_I (индекс I обозначает тип разрушения – отрыв) при изменении длины трещины в плоских образцах с различными размерами поперечного сечения с концентраторами и без них. Исследовались плоские образцы прямоугольного поперечного сечения длиной $l = 60$ мм и высотой B , равной 20 мм, 30 мм, 40 мм, 50 мм. Геометрические параметры исследуемых образцов пластины приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры образцов

Образец, №	1	2	3	4
длина l , мм	60			
высота B , мм	20	30	40	50
радиус надреза R , мм	0,5			

В среде программного продукта ANSYS был проведён расчёт коэффициента интенсивности напряжений K_I для гладких образцов и для образцов с концентратором напряжений в виде полукруглого надреза радиусом $R = 0,5$ мм. Решалась статическая упругая задача, напряжённое состояние считалось плоским. Материал пластины принимался изотропным с механическими характеристиками $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и $\mu = 0,33$. При решении задачи для уменьшения вычислительных затрат моделировалась не вся пластина, а лишь её четверть. Геометрическая модель пластины с полукруглым вырезом разбивалась сеткой плоских 8-и узловых конечных элементов типа *Solid Quad 8 node 183*. Модель пластины с сеткой конечных элементов приведена на рисунке 1.

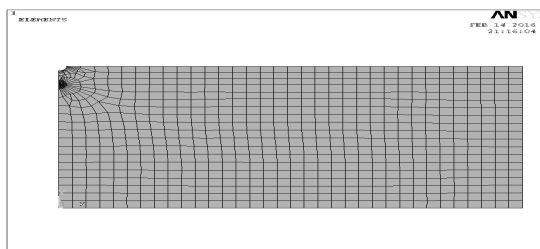


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель пластины

Граничные условия в виде условия симметрии принимались на левой и нижней грани пластины. На правом торце задавалась внешняя нагрузка в виде растягивающих напряжений $\sigma = 300$ МПа. Изменения коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины для образцов с различными размерами поперечного сечения с концентратором $R=0,5$ мм показаны на рисунках 2-7. По результатам расчётов необходимо отметить следующее:

- для моделей пластин рассматриваемых размеров с концентратором напряжений (надрез радиусом $R = 0,5$ мм) на начальном участке увеличения размера трещины l наблюдается максимум коэффициента интенсивности напряжений K_I ;
- для моделей пластин рассматриваемых размеров без концентратора на всём участке увеличения размера трещины l происходит плавное изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I .

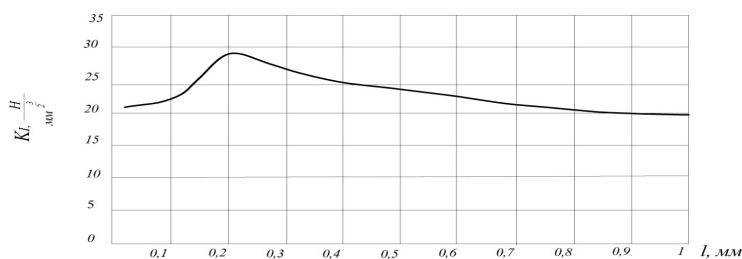


Рисунок 2 – Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины; пластина высотой 20 мм с концентратором (надрез радиусом $R = 0,5$ мм)

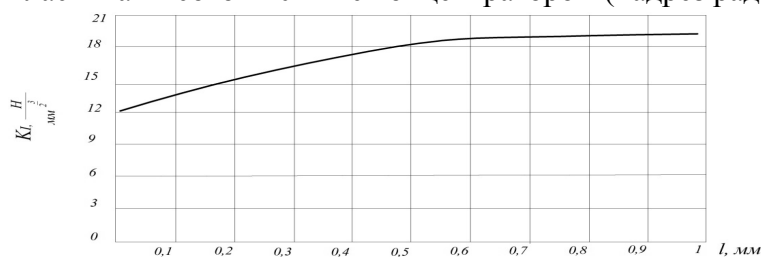


Рисунок 3 – Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины; пластина высотой 20 мм без концентратора

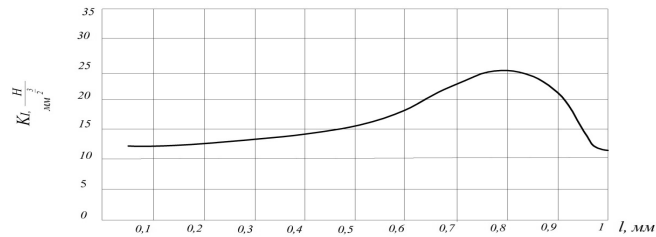


Рисунок 4 – Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины; пластина высотой 40 мм с концентратором (надрез радиусом $R = 0,5$ мм)

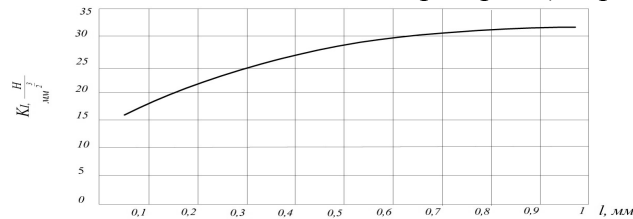


Рисунок 5 – Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины; пластина высотой 40 мм без концентратора

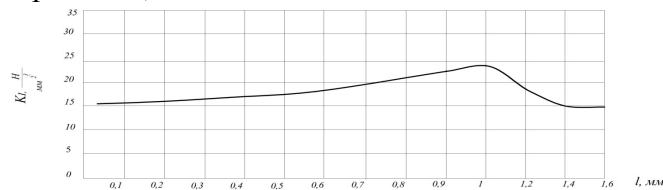


Рисунок 6 – Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины; пластина высотой 50 мм с концентратором (надрез радиусом $R = 0,5$ мм)

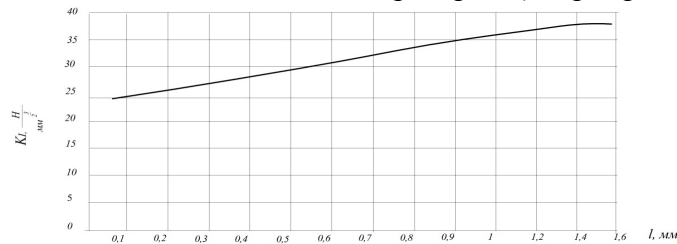


Рисунок 7 – Изменение коэффициента интенсивности напряжений K_I при увеличении длины трещины; пластина высотой 50 мм без концентратора

Таким образом, на основании проведённых исследований установлено, что при максимальном значении коэффициента интенсивности напряжений K_I размер трещины составляет величину, равную примерно $0,02h$, где h – размер высоты пластины с концентратором напряжений в наименьшем сечении. Данный результат достаточно точно согласуется с величиной критической глубины нераспространяющейся трещины усталости для сплошных цилиндрических образцов и деталей с концентратором напряжений $t_{кр} = 0,0216 D$, которая была получена на основании многочисленных экспериментов, D – диаметр наименьшего сечения детали с концентратором напряжений [1].

Библиографический список

1. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулук. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
2. Кудрявцев, П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины. [Текст] / П.И. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.
3. Кудрявцев, П.И. Изменение номинальной напряжённости в вершине кольцевой усталостной трещины [Текст] / П.И. Кудрявцев // Повышение прочности и долговечности деталей машин. – М.: Машиностроение. – 1969. – С. 233-238.
4. Кудрявцев, П.И. Развитие усталостных трещин в сталях в связи с поверхностным наклёпом [Текст] / П.И. Кудрявцев, Т.И. Морозова // Исследования по упрочнению деталей машин. – М.: Машиностроение. – 1972. – С. 194-200.
5. Кудрявцев, П.И. Некоторые особенности строения трещин усталости в низкоуглеродистой стали [Текст] / П.И. Кудрявцев // Повышение прочности и долговечности деталей машин. Кн. ЦНИИТМАШ, №110. – М.: Машиностроение, – 1969. – С. 105-113.