

## **Развитие малых трещин в алюминиевых конструкциях при циклическом нагружении**

В.В. Коновалов, А.А. Свиридов

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского

Представлены экспериментальные данные по развитию малых трещин (от нескольких долей миллиметра до нескольких миллиметров) в самолётостроительных Al-сплавах. Предложен метод определения разрушающего напряжения основанный на замене реальной трещины эквивалентной сквозной, равной реальной по площади и на модификации функции предела трещиностойкости  $I_c = K_c(\sigma_c)$ . Проведено сравнение расчетных и экспериментальных кривых остаточной прочности при наличии малых трещин, развивающихся от различных концентраторов напряжений.

Рассматриваются особенности развития очагов усталостных трещин при различных типах циклического нагружения и особенности кинетики усталостного роста малых трещин. Представлены экспериментальные зависимости  $v$ - $\Delta K$  в области малых трещин и величины рассеяния скоростей роста малых трещин. Предложена модель описания развития субмикротрещин, учитывающая эффект закрытия трещины и изменения порогового значения КИН –  $K_{th}$  – в области малых трещин. С использованием предложенной модели проведены расчеты полной долговечности образцов типа полоса с отверстием при различных нагрузках. Можно отметить ряд характерных признаков, отличающих малые трещины от достаточно хорошо изученных развитых трещин.

- развитие малых трещины происходит в пределах одного или нескольких зерен, что определяет их зависимость от микроструктурных параметров металла
- если трещины образуются у геометрических концентраторов напряжений, их развитие происходит в зоне пластических деформаций, вызванных этим концентратором
- имеется, как правило, несколько очагов развития трещин, что приводит к образованию сетки усталостных микротрещин
- малую трещину нельзя полностью охарактеризовать одним параметром - длиной, в отличие от развитой магистральной трещины, необходимо учитывать форму фронта трещины

На рис. 1 представлены фотографии типичных очагов возникновения усталостного разрушения. В настоящей работе предлагается метод определения трещиностойкости плоских элементов конструкции из Al-сплавов с малыми трещинами, основанный на использовании коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) и характеристик материалов, получаемых в основном при стандартных аттестационных испытаниях

материалов. В развитии рассмотренных в этих работах вопросам ниже представлены данные, связанные с модельным представлением трещин, расчётом скоростей роста субмикротрещин и определением полной долговечности на основе методов механики разрушения.

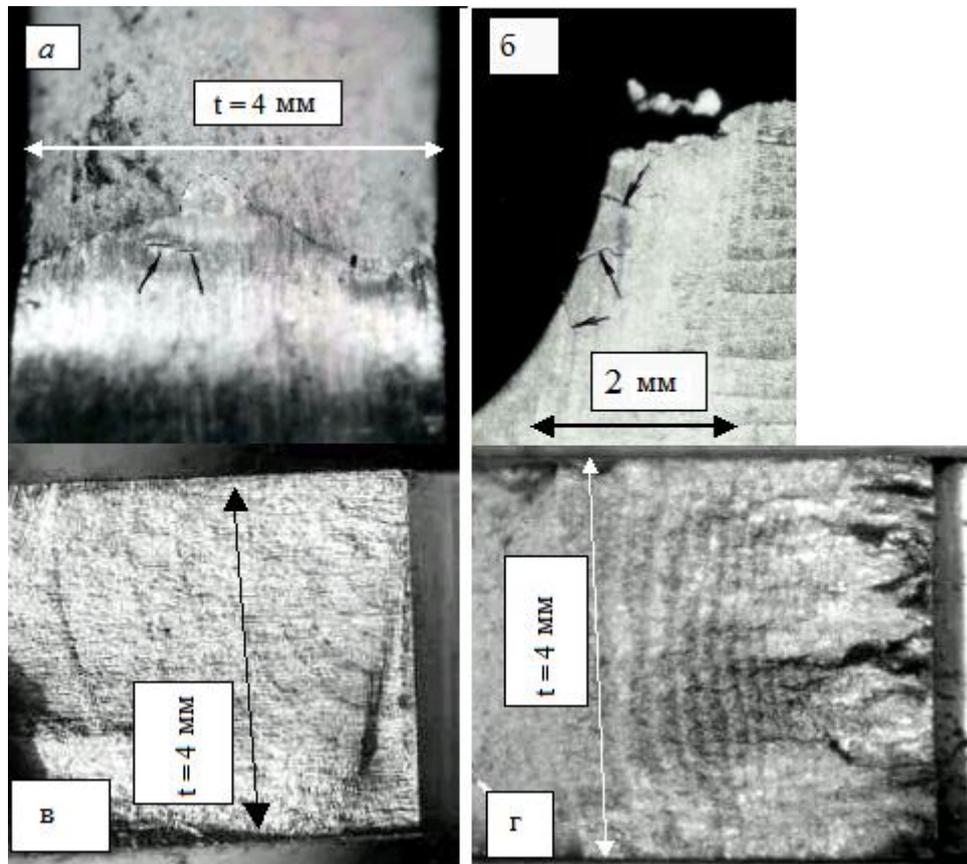


Рис. 1. Развитие очагов усталостных трещин. а), б) – множественные очаги у концентратора напряжений, в), г) – рост трещин при регулярном (в) и нерегулярном (г) нагружении. Основу предлагаемой методики составляют следующие положения:

1. КДР в области малых трещин экстраполируется в область низких значений  $\Delta K$  по данным, полученным на больших трещинах с учётом изменения  $K_{th}$  от длины трещины.
2. Величина  $K_{th}$  меняется в области малых трещин с изменением длины трещины от 0.5 мм до  $a_0$ .
3. Значение  $K_{эфф}$  определяется с учётом выражения и зависимости  $K_{c1}$  от длины трещины.

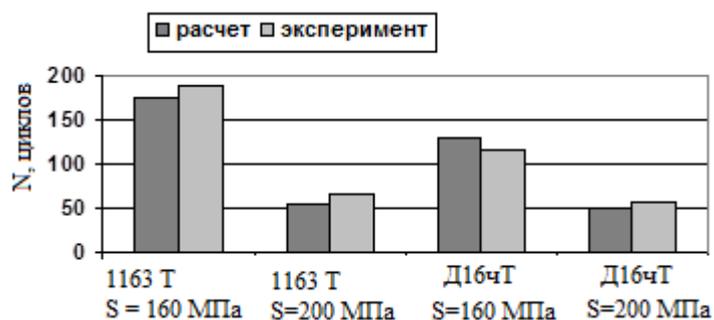


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные значения долговечности в полосе с отверстием при  $R = 0$

Результаты расчёта по разработанной методике представлены на рисунке 2.

Таким образом, форму, количество очагов и начальное развитие усталостных трещин достаточно трудно точно предсказать. Для инженерных оценок необходимо принимать обоснованные упрощения. Для оценок остаточной прочности может быть применена модель эквивалентных площадей. Кинетика малых трещин для листовых материалов до длины трещины 0.1-0.3 мм может также базироваться на эквивалентности площадей. При этом диаграмма малых трещин является продолжением КДР больших трещин. Для описания субмикротрещин или полной долговечности используется более сложная методика, основанная на модели закрытия трещины и метода её реализации, которая была предложена Ньюманом [1], и модели изменения  $K_{th}$  в зависимости от длины трещины.

#### Литература

1. *J.C. Newman, Jr, C.E. Harris, M.A. James, K.N. Shivakumar* Fatigue-life prediction of riveted lap-splice join using small-crack theory – 19th Symposium Fatigue in new and ageing aircraft – June 18-20 – Edinburgh, Scotland – 1997