

ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Межвузовский сборник, 1980

УДК 629.735.33.03

А.С.Серегин, А.Н.Лисиц

КИНЕТИКА РАЗВИТИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН
В СПЛАВЕ ДІ

В настоящей работе применительно к сплаву ДІ, используемому для изготовления лопастей воздушных винтов самолетов, приведены результаты испытаний на усталость 50 плоских образцов. Образцы вырезались из штамповок лопастей и имели в рабочем сечении толщину 8 мм и ширину 24 мм. В середине рабочего сечения цилиндрической фрезой диаметром 1,5 мм, повернутой под углом 45° к поверхности образца, наносился концентратор напряжения сегментной формы. Такой концентратор обеспечивал получение полуэллиптической трещины, отношение длины малой полуоси которой к большой составляло 0,74.

Таблица 1

| l_{TP} [мм] | $n\omega^2$ | | $Z_\alpha = 0,05$ |
|---------------|-------------|-------------|-------------------|
| | N_{TP} | $lg N_{TP}$ | |
| 2 | 0,6890 | 0,0490 | 0,4615 |
| 3 | 1,0100 | 0,1149 | 0,4615 |
| 5 | 1,9110 | 0,1899 | 0,4615 |
| 8 | 0,8211 | 0,0983 | 0,4615 |
| 10 | 1,3415 | 0,2103 | 0,4615 |

Все испытания осуществлялись с частотой нагружения, равной 6000 циклов в минуту и амплитудой $\sigma_a = 13$ кгс/мм². Наблюдения за развитием трещин велись на микроскопе с 24-х кратным увеличением, оборудованным стробоскопической приставкой, что обеспечивало высокую точность замеров в процессе работы испытательной машины.

Результаты испытаний обрабатывались статистически. Так, с помощью критерия ω^2 [1] была выполнена проверка принадлежности распределения долговечностей, соответствующих определенным длинам трещин (2, 3, 5, 8 и 10 мм), а также логарифмов долговечностей нормальному закону распределения случайных величин. Величины $n\omega^2$

вычисленные для долговечностей и их логарифмов, приведены в таблице I.

Полученные значения $n\omega^2$ говорят о том, что предположение о нормальном распределении долговечностей до образования трещин (N_{TP}) противоречит опытным данным, т.к. $n\omega^2 > Z_{\alpha=0,05}$. В то же время логарифмически нормальный закон распределения не отвергается ($n\omega^2 < Z_{\alpha=0,05}$).

Аналогичным образом был выполнен анализ эмпирических распределений скорости распространения трещин и их логарифмов. В итоге было получено, что распределение скоростей нормальному закону не подчиняется; нормальный закон распределения можно применять для описания логарифмов скоростей роста трещин. Графически этот вывод иллюстрируется данными, представленными на рис. I.

Представление результатов исследований в виде кривых распределения скоростей позволило построить вероятностную диаграмму усталостного разрушения $d\epsilon/dN = f(\Delta K)$. Последовательность построения заключалась в следующем: через кривые распределения скоростей проводились горизонтальные сечения, и для трещин различных длин определялись скорости, соответствующие заданным вероятностям. Каждой длине трещины и уровню напряжения соответствовало свое значение размаха коэффициента интенсивности напряжений ΔK . Величина ΔK определялась по зависимости, приведенной в работе [2] для пластины с полуэллиптической трещиной, нагруженной изгибающим моментом.

Вероятностная диаграмма усталостного разрушения приведена на рис. 2. Для аппроксимации нанесенных на этом графике данных использовалось уравнение Париса [3]:

$$\frac{d\epsilon}{dN} = C(\Delta K)^n.$$

Из анализа этих графиков следует, что в диапазоне вероятностей от $P = 1\%$ до $P = 99\%$ экспериментальные точки расположены близко к прямым, построенным по уравнению Париса. Такая закономерность позволяет распространить применение данного уравнения к расчету периода живучести с учетом вероятности возникновения как быстрых, так и медленных трещин.

Параметры зависимости $d\epsilon/dN = C(\Delta K)^n$ изменялись следующим образом: показатель степени n - от 3,1 до 2,0. Коэффициент C - от $7,6 \cdot 10^{-9}$ до $0,73 \cdot 10^{-9}$. Изменение показателя степени вызвано неравномерным рассеиванием скоростей развития трещин различных

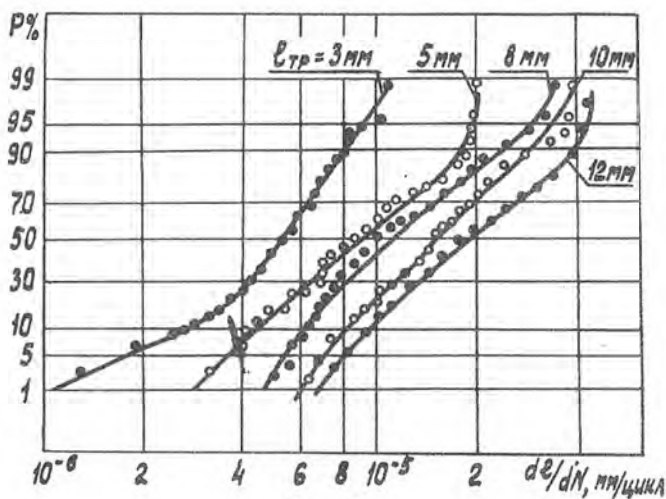


Рис. I

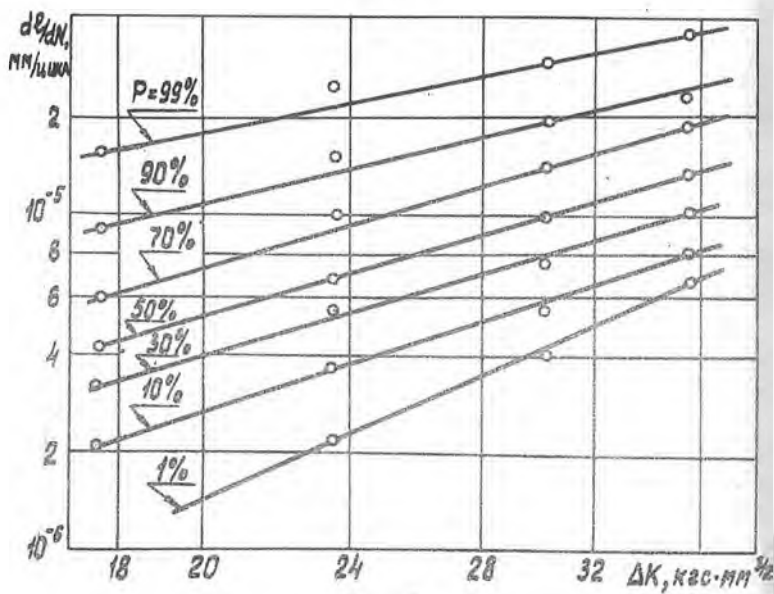


Рис. 2

они. Числовые значения характеристик рассеивания (средние квадратические отклонения) различных параметров сопротивления усталости приведены в таблице 2. Эти данные показывают, что для больших длин трещин соответствует большие значения средних квадратических отклонений логарифмов скоростей трещин $S(\lg d\ell/dN)$. Если же оценивать рассеивание не логарифмов, а самих скоростей $(d\ell/dN)$, то наблюдается обратная картина - с ростом трещин значения $S(d\ell/dN)$ увеличиваются.

Таблица 2

| С.К.О. | ℓ_{TP} [мм] | | | | |
|---------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $S(\lg d\ell/dN)$ | 0,236 | 0,300 | 0,283 | 0,305 | 0,299 |
| $S(d\ell/dN) \cdot 10^7$, мм/цикл | 22,3 | 33,1 | 43,8 | 50,1 | 70,3 |
| $S(\lg N_{TP})$ | 0,394 | 0,409 | 0,345 | 0,335 | 0,314 |

Выводы

1. Для описания эмпирических функций распределения долговечностей до появления усталостных трещин и функций распределения скоростей трещин можно применять логарифмически нормальный закон.
2. Закономерности изменения скорости развития усталостных трещин можно описывать уравнением Париса как для средних значений, так и с учетом вероятности возникновения быстрых и медленных трещин.

Л и т е р а т у р а

1. Степнов М.Р. Статистическая обработка результатов механических испытаний. - М.: Машиностроение, 1972. - 232 с.
2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. - М.: Наука, 1974. - 640 с.
3. Парис П., Эрдоган Ф. Критический анализ законов распространения трещин. - Техническая механика, сер. Д, т. 85, 1963, № 4.