

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  $45^\circ$  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/мм<sup>2</sup>. 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  $\omega^2$  [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  $\Delta K$ . Величина  $\Delta K$  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

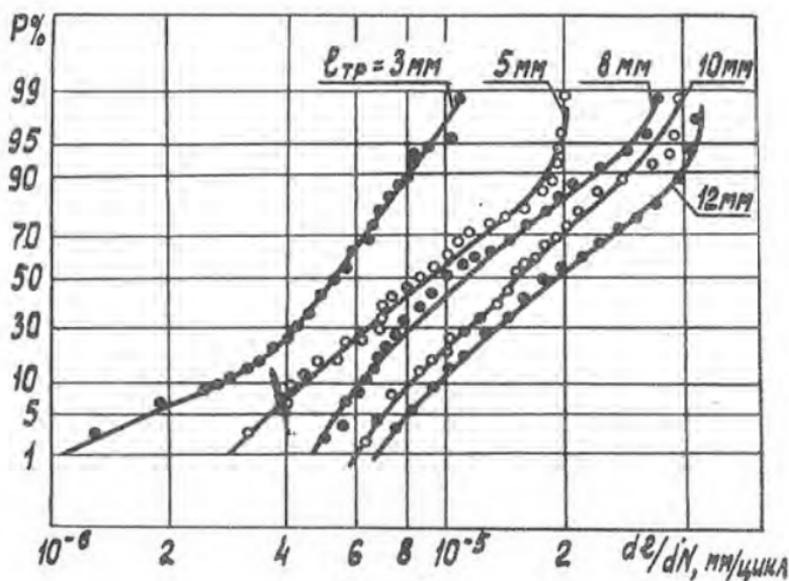


Рис. I

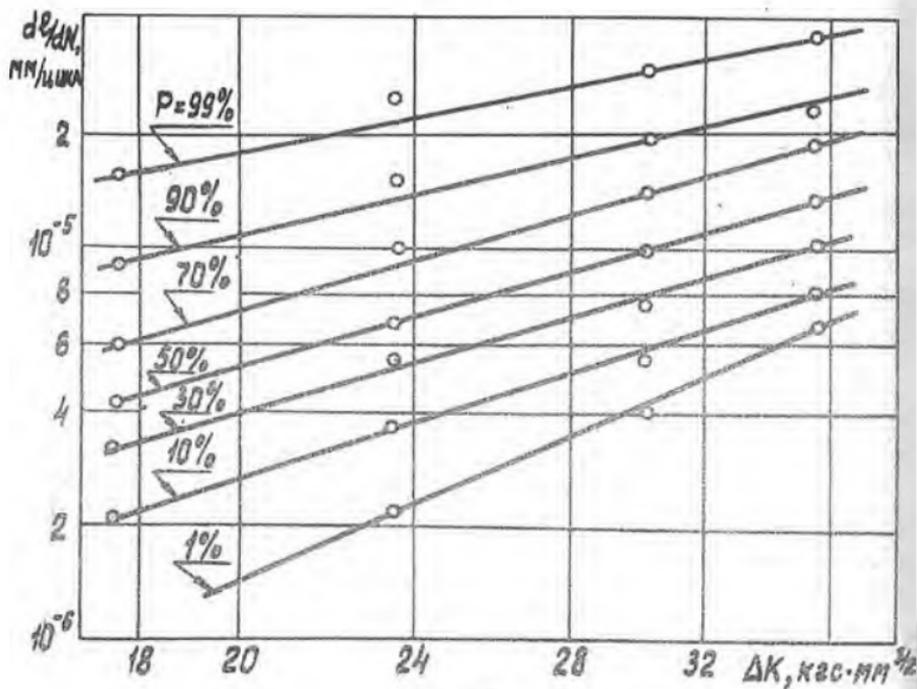


Рис. 2

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.	$\ell_{TP}$ [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.