

Л и т е р а т у р а

1. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. - М.: Металлургия, 1975. - 456 с.
2. Нотт Д. Основы механики разрушения. - М.: Металлургия, 1978. - 256 с.
3. Чернецкий В.И. Анализ точности нелинейных систем управления. - М.: Машиностроение, 1968. - 248 с.
4. Перов С.Н. Методика оценки вероятности безотказной работы элементов конструкции летательных аппаратов с учетом технологических и эксплуатационных трещиноподобных дефектов. - Куйбышев, 1985. 77 с. Рукопись деп. в ВИНТИ № 3853-85 Деп от 03.06.85.
5. Ярема С.Я., Мельничок Л.С., Попов Б.А. Рассеяние скорости роста усталостной трещины и обработка экспериментальных данных. - Физ-хим. механика материалов, 1984, № 3, с.59-66.
6. Черепанов Г.П. Уругоупругая задача в условиях антиплоской деформации. - Прикладная математика и механика, 1962, т.26. № 4, с.697-708.
7. Куренков В.И., Тарасов Ю.Л. Определение скорости роста усталостных трещин на основе равновесной диаграммы растяжения: - В кн.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Куйбышев, 1980, с.98-105.

УДК 539.4.620.178.222

Б.А.Лавров, Б.В.Курилкин, В.А.Носов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ  
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА МАЛЫХ ОБРАЗЦАХ

Для оценки работоспособности элементов конструкции с трещинами в настоящее время все более широкое применение получают параметры механики разрушения. Наибольший интерес среди них представляет критический параметр  $K_{1c}$ , определяющий нижнюю границу вязкости разрушения и являющийся константой материала. Однако определение  $K_{1c}$  по существующим методикам требует испытания массивных образцов, при разрушении которых благодаря достаточной для данного материала толщине практически запрещается макропластическая деформация перед краем трещины и реализуются условия плоской деформации, необходимые для корректного определения  $K_{1c}$  материала. Проведение

ных испытаний затрудняет изучение этой важной характеристики в лабораторных условиях, так как для этого необходимо мощное испытательное оборудование.

Большинство агрегатов летательных аппаратов представляют собой крупногабаритные тонкостенные конструкции, элементы которых изготавливаются методом пластического деформирования. Поэтому несомненный интерес представляет определение  $K_{Ic}$  именно для таких конструкций. Следовательно, необходимо разработать методику определения  $K_{Ic}$  на малогабаритных тонколистовых образцах.

Предлагаемая методика имеет своей целью определение  $K_{Ic}$  на пластически деформированных образцах. Она основана на уменьшении общей пластичности материала из-за его нагартовки в процессе пластического деформирования. Снижение общей пластичности материала и выравнивание пластических свойств по толщине образцов приводят к уменьшению пластических зон у вершины трещины в приповерхностных слоях и, как следствие этого, изменяют вязкость разрушения материала. В случае деформирования материала образцов до предельных значений коэффициент интенсивности напряжений в процессе их разрушения может достигнуть своего критического значения -  $K_{Ic}$ .

Весь комплекс работ, проводимых по данной методике, можно разбить на три этапа:

1. Оценка механических свойств исследуемого материала на образцах-свидетелях специальной формы; пластическое деформирование и обработка экспериментальных образцов.

2. Наведение усталостной трещины.

3. Эксперименты по оценке вязкости разрушения исследуемого материала и анализ полученных результатов.

На первом этапе проводится анализ всех сведений по исследуемому материалу (сертификат, химический состав, виды термообработки, стандартные механические свойства). Из исследуемого материала вырезаются образцы специальной формы (рис. I).

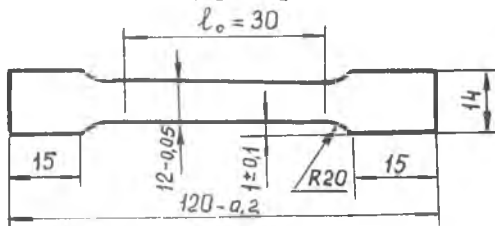


Рис. I

На рабочей части образцов рисками наносится базовый участок ( $l_0$ ). Для проверки соответствия механических свойств исследуемого материала стандартным механическим свойством выирается 5-10 образцов-свидетелей. В пределах базового участка образцы-свидетели обмеряются по толщине ( $t$ ) и ширине ( $B$ ), кроме того, замеряется длина самого базового участка ( $l_0$ ). В соответствии с техническим условиями на материал образцы-свидетели и экспериментальные образцы термообрабатываются.

Путем испытания образцов-свидетелей на одноосное растяжение определяются механические свойства исследуемого материала ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ ) и сравниваются со стандартными характеристиками. Материал считается годным к проведению дальнейших испытаний, если между полученными и стандартными характеристиками наблюдается примерное соответствие.

Экспериментальные образцы деформируются методом одноосного растяжения на величины  $\delta = 0,25; 0,5; 0,75; \sim I$  от предельной величины пластичности материала ( $\delta_{пр}$ ), полученной на базовой длине образцов-свидетелей. В случае значительной пластичности исследуемого материала (О1983, МАг-6, МА-18 и т.д.) рассматриваемый интервал степеней деформирования можно расширить произвольным образом. Из деформированных образцов вырезаются образцы БНИ /I/ (рис.2) без доработки по размерам  $t$  и  $B$  в пределах базового участка.



Рис. 2

В области моделируемой трещины на доработанных образцах замеряются размеры  $t$  и  $B$ . Результаты измерений заносятся в протокол испытаний.

На втором этапе на образцах наводятся усталостные трещины. Частота нагружения при наведении трещин -  $10 + 30$  Гц /1,2/. Ампли-

туда цикла нагружения определяется либо экспериментально путем подбора (при нагружении образца скорость роста трещины не должна превышать  $2,5 \cdot 10^{-5}$  мм/цикл /3/), либо по результатам тарировочных испытаний. С этой целью строятся зависимости вида:  $P = f(\Delta f, \bar{\ell})$ , где  $P$  - нагрузка на образец, кгс;  $\Delta f$  - прогиб образца, мм;  $\bar{\ell}$  - относительная длина трещины ( $\bar{\ell} = \frac{\ell_{гр}}{B}$ ).

В процессе испытаний  $\bar{\ell}$  изменяется ( $0 \leq \bar{\ell} \leq 1$ ). По известным формулам для определения коэффициента интенсивности напряжений у вершины трещины для выбранной схемы нагружения /2/, полученным зависимостям  $P = f(\Delta f, \bar{\ell} = \nu a \nu)$  и условиям наведения усталостной трещины /1,2/ подбирается амплитуда цикла нагружения  $-\Delta f$ . Следует отметить, что при изменении  $\delta$  скорость роста трещины в материале также изменяется. Поэтому для образцов, деформированных на разные степени  $\delta$ , значения амплитуды цикла нагружения ( $\Delta f$ ) будут разными.

На третьем этапе исследований производится определение вязкости разрушения материала в зависимости от его пластического состояния. С этой целью проводятся испытания образцов с трещинами по схеме трехточечного статического изгиба. В процессе испытаний записываются диаграммы „  $P - \Delta f$  ” (нагрузка - прогиб образца), на которых фиксируются значения нагрузки ( $P_Q$ ) в момент начала нестабильного (скачкообразного) развития трещины. В случае отсутствия „скачка” в развитии трещины  $P_Q$  определяется по методу 5 %-ной секущей. На разрушенном образце в трех точках сечения, соответствующих  $(0,25; 0,5; 0,75) t$ , замеряется длина трещины. В расчет принимается среднее арифметическое значение полученных длин трещины. С целью определения утяжки сечения образца у вершины трещины замеряются характерные размеры  $t$  и  $B$ .

Вязкость разрушения материала оценивается расчетным значением коэффициента интенсивности напряжений ( $K_Q$ ), который:

- при соблюдении условий плоского напряженного состояния равен  $K_{Ic}$  материала с данными пластическими свойствами;
- при соблюдении условий плоской деформации равен  $K_{Ic}$  материала.

Значения  $K_Q$  вычисляются по формуле:

$$K_Q = \frac{P_Q \cdot L}{t \cdot B^{3/2}} Y(\bar{\ell}), \quad (I)$$

где  $L$  - расстояние между опорами нагружающего устройства ( $L = 4B$ ), мм;  $Y(\bar{\ell})$  - безразмерная функция длины трещины.

Пластические свойства деформированного материала экспериментальных образцов оцениваются остаточной пластичностью или так называемым «запасом пластичности» ( $\delta_{3П}$ ) материала. В некоторых случаях (например, при оценке вязкости разрушения материала деталей, изготовленных по различным схемам многооперационного технологического процесса методом пластического деформирования) целесообразнее использовать значение степени предварительной деформации ( $\delta_{\Sigma}$ ), оценивающей конструктивные и технологические особенности деталей и равной сумме операционных степеней деформации материала при их изготовлении.

Таблица I

Вязкость разрушения сплава 01420

№ п/п	Степень предварительной деформации $\delta_{\Sigma}$ , %	t, мм	$K_Q$ , кгс/мм <sup>3/2</sup>	$K_{Q,CP}$ , кгс/мм <sup>3/2</sup>
1	0	2	57.47 + 61.71	60.05
		3	68.82 + 74.03	71.46
		4	68.09 + 79.12	71.65
		6	74.08 + 84.34	79.0
2	4	2	65.74 + 71.85	68.2
		3	72.46 + 78.53	74.5
		4	74.3 + 84.83	80.01
		6	72.39 + 85.34	78.91
3	6	2	67.71 + 72.38	69.9
		3	78.96 + 81.61	80.42
		4	74.21 + 79.96	78.68
		6	67.47 + 73.22	69.51
4	14	2	73.78 + 79.00	77.05
		3	69.19 + 77.59	72.71
		4	68.16 + 75.44	70.74
		6	65.61 + 66.89	66.24
5	20	2	67.01 + 77.37	72.72
		3	67.12 + 73.98	69.56
		4	61.7 + 64.57	62.45
		6	60.92 + 65.14	63.27

Характерными признаками реализации в процессе испытаний условий плоской деформации, подтверждающими достоверность определения  $K_{Ic}$  материала, служат /4/:

- прямой без сколов излом образцов;
- отсутствие утяжки характерных размеров  $t$  и  $B$  у вершины трещины;
- линейность диаграммы "  $P - \Delta f$  " ;
- наличие острого максимума по нагрузке в момент нестабильного развития трещины.

Методика была опробована на образцах из сплава ОI420 толщиной  $t = 2, 3, 4$  и 6 мм. Результаты испытаний сведены в табл. I. Графическое выражение полученных результатов представлено на рис.3.

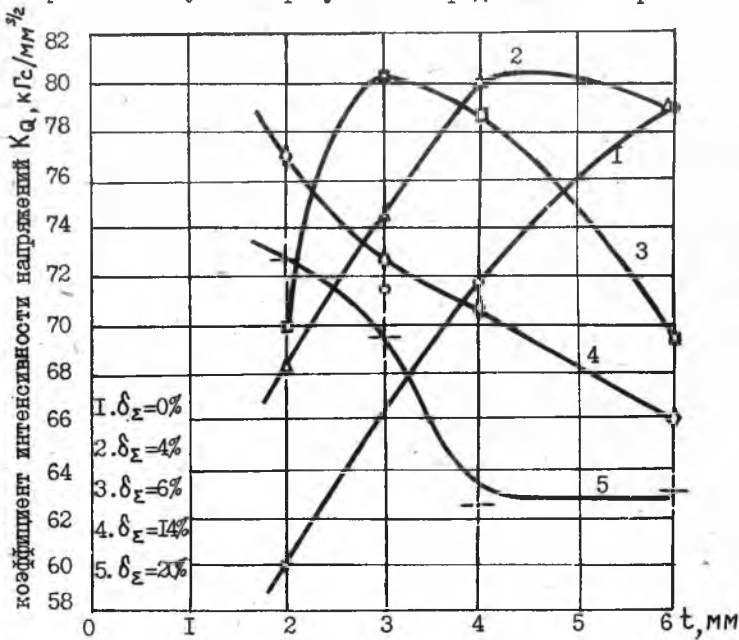


Рис. 3

Испытания показали:

I. Экспериментальная партия образцов разрушилась без образования характерных для сплава ОI420 расслоений по толщине ( $t$ ).

2. У образцов с  $t = 2$  и  $3$  мм скачкообразного развития трещины не наблюдалось. С ростом  $\delta_{\Sigma}$  доля прямого излома увеличивалась ( $\sim 0,5t$  при  $\delta_{\Sigma} = 20\%$ ), утяжки характерных размеров  $t$  и  $B$  у вершины трещины не наблюдалось.

3. У образцов с  $t = 4$  и  $6$  мм скачкообразное развитие трещины отмечалось при  $\delta_{\Sigma} = 6\%$ , с ростом  $\delta_{\Sigma}$  диаграммы разрушения " $P - \Delta f$ " приобретали характер, приближающийся к линейному. При  $\delta_{\Sigma} \geq 14\%$  выполнялись все условия плоской деформации. Для сплава О1420 в случае разрушения без расслоений  $K_{1c} = 62,45 + 63,27 \text{ кгс/мм}^{3/2}$ .

### Л и т е р а т у р а

1. Кудряшов В.Г., Смоленцев В.И. Вязкость разрушения алюминиевых сплавов. - М.: Металлургия, 1976. - 296 с.

2. Микляев П.Г., Нешпор Г.С., Кудряшов В.Г. Кинетика разрушения. - М.: Металлургия, 1979. - 280 с.

3. Хеккель К. Техническое применение механики разрушения. - М.: Металлургия, 1974. - 62 с.

4. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упруго-пластического разрушения. - М.: Наука, 1974. - 416 с.

УДК 629.7.02:539.4

Н.И.Гадалин, Р.Э.Миноранский,  
С.Н.Перов

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕКАНОНИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ СО СЛОЖНЫМ СПЕКТРОМ

При решении задач статистической динамики требуется по известным вероятностным характеристикам входной случайной функции строить ее выборочные функции - реализации. Эта проблема решается представлением случайных процессов в виде детерминированных функций некоторой совокупности случайных величин. Наиболее распространены линейные канонические разложения случайных функций  $/1/$ , которые удобно использовать при анализе линейных систем. Для решения нелинейных задач статистической динамики каноническое разложение по базовым координатным функциям трудноприменимо. Это объясняется тем, что для моделирования реализации случайных входных процессов требуется большое количество случайных чисел, получаемых с помощью датчиков