

Н.Е. САРКИСЯН, Н.Н. САРКИСЯН

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ВБЛИЗИ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ИХ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ

Исследован процесс распространения усталостных трещин в стеклопластиках при многоцикловом осевом растяжении в зависимости от концентрации напряжений и изменения масштабного фактора испытываемых образцов. Установлено, что скорость распространения трещины зависит от размеров образца и тем выше, чем больше коэффициент масштабного фактора и значение циклического напряжения.

Ключевые слова: усталостные трещины, концентратор напряжений, циклическое напряжение, композитные материалы, растяжение.

Целью настоящей работы является исследование процесса распространения усталостных трещин вблизи концентратора напряжений в стекловолокнистых композитных материалах при их осевом статическом растяжении.

Исследование развития кинетики трещин дает возможность как точного определения долговечности конструкции, так и обоснованного выбора оптимального критерия усталостной прочности и долговечности конструкции [1-3 и др.]. При этом особый интерес представляет изучение собственно самого процесса разрушения материала, в аспекте достоверной оценки его остаточной прочности и несущей способности, что может быть тесно связано с дальнейшим целевым использованием силовых конструкций.

В работе испытаны образцы с призматическим рабочим участком шириной ($b=15$ мм) и толщиной, равной толщине листа материала, изготовленного промышленным путем, которая составляла $t=1,0; 3,0$ и $5,0$ мм.

Таким образом, масштабный коэффициент образцов составляет $K_m=b/t=15,0; 5,0$ и $3,0$. Концентратор напряжения представляет собой центральное круговое отверстие диаметром 4 мм, просверленное перпендикулярно плоскости образца в форме двусторонней лопатки [4].

Для каждого из образцов усталостные испытания проведены при максимальном значении циклического напряжения, составляющем 0,1, 0,2 и 0,3 от предела прочности материала при кратковременном статическом растяжении. Первоначальное значение частоты циклического нагружения составляло 60 Гц и определялось значением жесткости образца в исходном состоянии. Испытания осуществлялись по принципу резонансного нагружения, когда текущее значение частоты нагружения определяется значением жесткости образца и может изменяться в процессе нагружения по мере изменения последнего.

Кривая кинетики повреждаемости каждого образца строилась по данным непрерывного наблюдения за частотой нагружения в условиях образования и развития трещин в материале. Амплитуда колебания образца в процессе испытания сохранялась неизменной. В качестве начала отсчета принимался момент времени, когда уменьшение исходного значения собственной частоты колебаний образца достигало 0,5%.

При данном уровне напряжений для построения кривой повреждаемости использовалось среднеарифметическое значение результатов испытания 3-5 образцов. Результаты испытания подвергались статистической обработке по методике малого числа наблюдений [5].

На основе опытных данных в системе координат $\lg D - \lg N$ построены кривые повреждаемости для каждого из образцов и результирующая кривая повреждаемости, которая строилась по осредненным данным. Результаты обработки данных представлены на рис.1, где кривые соответствуют результатам испытания каждого образца при заданном значении $K_\sigma=5,0$, а результирующая кривая получена путем соответствующей статистической обработки. Здесь числами указаны номера образцов.

Установлено, что закономерность изменения меры усталостной повреждаемости образца D в зависимости от числа циклов нагружения N в логарифмической системе координат для исследованного материала линейна.

Используя уравнение прямой в отрезках, получим

$$D = D_0(N/N_0)^m \quad (1)$$

или

$$\lg D = \gamma + m \lg N, \quad (2)$$

где γ - постоянный коэффициент, а $m = \lg(D_k/D_0) / \lg(N_k/N_0)$ - коэффициент интенсивности повреждаемости, зависящий от ряда параметров, влияющих на процесс развития трещины.

Здесь D_0 и D_k - меры повреждаемости, которые соответствуют началу и концу рассматриваемой фазы усталости, а N_0 и N_k - соответственно количество циклов нагружения этой области.

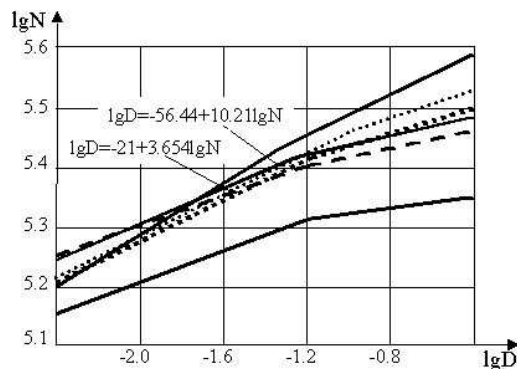


Рис.1

На основе экспериментальных результатов для образцов, испытанных в данной работе, были определены числовые значения всех параметров, входящих в уравнение повреждаемости.

Принимая, что предыстория нагружения образца мало влияет на процесс развития трещины при воздействии на него циклическим нагружением, как было показано в [6], существует такое минимальное значение напряжения $\sigma_{min} = U \cdot \sigma_{-1}$, при котором трещина не развивается. Учитывая это, из уравнения повреждаемости (1) можно заключить, что $D = D_0 = D_k$ и текущее значение количества циклов составляет $N = 10^6$ и представляет собой требуемое эксплуатационными условиями максимальное количество циклов нагружения, которое для полимерных композитных материалов может быть принято $N = 10^6 \dots 5 \cdot 10^6$.

Если N_0 заменить количеством циклов, соответствующих точке перегиба усталостной диаграммы N_0^{-1} , и учесть величину минимального напряжения циклов σ_{min} , то формулу (1) можно привести к следующему виду:

$$D = D_0 (N_0^{\delta} / N_0^1)^m. \quad (3)$$

Отсюда следует, что при напряжении, при котором приостанавливается дальнейшее распространение трещины в образце, коэффициент интенсивности $m = 0$.

Используя значения параметров кривой повреждаемости, полученных при статистической обработке экспериментальных данных, определены уравнения кривых усталости для образцов с различными значениями коэффициента масштабного фактора. Полученные результаты обобщены в таблице.

Для определения зависимости коэффициента интенсивности m от уровня напряжения кривые усталости для всех испытанных образцов перестроены в системе координат $\sigma \sim m$ (рис.2). Минимальное значение напряжения, независимо от масштабного фактора K_{δ} , принято одинаковым $\sigma_{min} = 100 \text{ МПа}$. Здесь не учитывалось снижение условного предела усталостной прочности композита при распространении усталостной трещины в нем. При этом значение коэффициента интенсивности m было принято равным нулю.

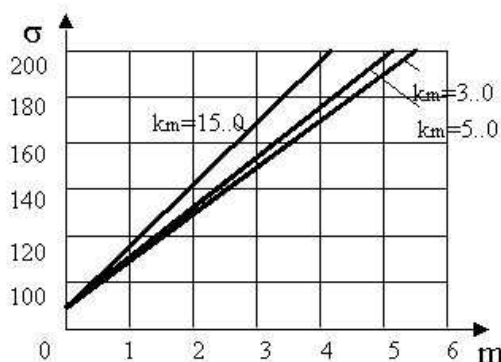


Рис.2

Полученные в настоящей работе результаты исследования не противоречат известным экспериментальным данным. Концентрация напряжений практически не влияет на интенсивность роста повреждаемости материала, а только снижает

значение величины долговечности, соответствующей моменту образования усталостных макротрещин. Это можно объяснить тем, что концентрация напряжений способствует более раннему возникновению усталостной трещины, а ее последующее развитие обусловлено лишь величиной циклической нагрузки и дальнейшей концентрацией напряжений в зоне распространения усталостной трещины.

Таблица

Усталостные кривые для долговечностей N_0 и N_k

$\sigma/4$	K_m	Уравнения усталостных кривых	$\sqrt{\lg N^2} >$
1	3,0	$\lg N_0 = 5,0368 - 4,4023(\lg \sigma - 1,2757) \pm tq\sqrt{\lg N^2} >$	0,0361
2		$\lg N_k = 5,2125 - 5,0422(\lg \sigma - 1,2757) \pm tq\sqrt{\lg N^2} >$	0,0361
3	5,0	$\lg N_0 = 5,0629 - 3,4733(\lg \sigma - 1,2757) \pm tq\sqrt{\lg N^2} >$	0,0553
4		$\lg N_k = 5,5242 - 4,4019(\lg \sigma - 1,2757) \pm tq\sqrt{\lg N^2} >$	0,0487
5	15,0	$\lg N_0 = 5,3255 - 4,0635(\lg \sigma - 1,2757) \pm tq\sqrt{\lg N^2} >$	0,0531
6		$\lg N_k = 5,5223 - 4,7431(\lg \sigma - 1,2757) \pm tq\sqrt{\lg N^2} >$	0,0400

Из (1) можно получить скорость распространения усталостной повреждаемости для произвольного момента ее роста, которая равна

$$\frac{dD}{dN} = \frac{D_0 m}{N_0^m} N^{m-1}. \quad (4)$$

Из (2) следует, что показатель величины m не зависит от количества циклов N для данной области усталости. Следовательно, логарифмируя это уравнение, получим

$$\lg \frac{dD}{dN} = \lg \frac{D_0 m}{N_0^m} + (m-1) \lg N. \quad (5)$$

Отсюда следует, что скорость роста повреждаемости в течение времени возрастает по линейному закону, причем $\lg N \leq \lg N_k$.

В работе исследованы и рассчитаны скорости распространения усталостной повреждаемости и усталостной трещины в зависимости от напряжения и с учетом масштабного фактора. Полученные результаты показывают, что скорость распространения усталостных трещин зависит от размеров образца и тем выше, чем больше значение коэффициента K_m и больше величина действующего циклического напряжения. Установлено, что значение скорости распространения усталостной трещины, соответствующее началу стадии ускоренного развития повреждаемости материала, на порядок выше, чем на фазе образования микротрещин. Концентрация напряжений также влияет на скорость распространения усталостной трещины, в особенности, при увеличении действующей нагрузки.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно заключить, что для образцов с концентратором напряжений и с различными значениями

коэффициента масштабного фактора, при небольших величинах циклического напряжения, скорость роста усталостной повреждаемости мало зависит от параметра усталостной повреждаемости D . Эта зависимость становится существенной только при больших значениях циклического напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А.** Сопротивление полимерных и композитных материалов. – Рига: Зинатне. 3-е изд., перераб. и допол., 1980. – 572с.
2. **Серенсен С.В., Стреляев В.С.** Статическая конструкционная прочность стеклопластиков // Вестник машиностроения. -1962. - № 3. – С. 3-9.
3. **Немец Я., Серенсев С.В., Стреляев В.С.** Прочность пластмасс. – М.: Машиностроение, 1970. –335 с.
4. **Саркисян Н.Н., Саркисян Н.Е.** Характер повреждения композитных материалов и оценка снижения их прочности при циклическом деформировании // Изв. НАН РА. Механика. – 2000. -Т.53. - С. 78-82.
5. **Митропольский А.К.** Техника статистических вычислений. –М.: Физматгиз, 1961. -368 с.
6. **Кручинин В.В., Сафронов Ю.Д.** Изучение скорости распространения усталостных трещин по замерам прогибов образца // Прочность металлов при циклических нагрузках: Сб.тр. – М.: Наука, 1967. - 362 с.

ГУАСА. Материал поступил в редакцию 10.05.2002.

Ն.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ն.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՀՈԳՆԱԾՍՅՈՒՆ ԶԱՔԵՐԻ ՏԱՐԱԾՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԼԱՐՄԱՆ ԽՏԱՐԱՐԻ ՄՈՏԵՐՔՈՒՄ ԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱՌԱՆՔՍՅՈՒՆ ԶԳՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Հետազոտված է հոգնածային ճաքերի տարածումը ապակեպլաստներում բազմացիկլային առանցքային ձգման դեպքում՝ կախված լարումների խտարարի և փորձարկվող նմուշների մասշտաբային գործոնի փոփոխությունից: Մահմանված է, որ ճաքի տարածման արագությունը կախված է նմուշի չափերից և այնքան մեծ է, ինչքան մեծ են մասշտաբային գործոնի արժեքը և ցիկլային լարման մեծությունը:

N.E. SARGSYAN, N.N. SARGSYAN

FATIGUE CRACK DIFFUSION IN PECULIARITIES NEAR THE STRESS CONCENTRATOR IN COMPOSITE MATERIALS DURING THEIR AXIAL TENSION

Fatigue crack distribution in fiberglass plastics under multi-cyclic axial tension in terms of stress concentration and scale factor change of tested samples is investigated It is stated that the crack speed distribution depends on the model size, and the higher the speed, the more the scale factor and the cycle stress value.