

УДК 539.4:620.178.3:678

## ПРОЧНОСТЬ ОРГАНОПЛАСТИКА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И МАЛОЦИКЛОВОМ ИЗГИБЕ И МЕЖСЛОЙНОМ СДВИГЕ

САРКИСЯН И. Е.

Слоистые композитные материалы, в том числе органопластики, обладают низкой сдвиговой прочностью, что особенно проявляется в условиях поперечного изгиба и межслойного сдвига. Поэтому экспериментальное исследование механического поведения этих материалов при различных видах циклического нагружения, в частности, в условиях изгиба и сдвига, приобретает большой интерес [1]. Вместе с тем, литературных данных, достаточных для создания теории усталостной прочности, учитывающей особенности разрушения слоистых композитов, еще недостаточно [1, 2].

В настоящей работе исследовалась статическая и малоцикловая прочность однонаправленного органопластика при плоском изгибе и межслойном сдвиге. Композит был изготовлен на основе жгута из органических волокон и эпоксиного связующего.

Опыты ставились на испытательной машине статического растяжения ZD-10, которая была специально дооборудована в целях осуществления циклического нагружения. Обычная методика испытаний и статистического анализа опытных данных приведена в работах [3, 4].

Испытания при изгибе проводились по схеме трехточечного изгиба, когда образец свободно опирается на две опоры, а изгибающая сосредоточенная сила прикладывается в середине пролета. При этом учитывались специфические требования, предъявляемые к испытаниям высокопрочных композитов на изгиб [5].

На изгиб испытывались прямоугольные призматические образцы, размерами  $120 \times 15 \times 6$  мм. Изгиб осуществлялся в плоскости наименьшей жесткости образца. Отношение длины пролета (расстояние между опорами) к толщине образца в основной серии испытаний принималось равной 16. Вместе с тем, в методической части работы, изучалось влияние изменения этого соотношения на прочность композита при изгибе.

При испытаниях на межслойный сдвиг особое внимание уделялось обеспечению расчетного сечения, в котором действовали бы только касательные напряжения и разрушение происходило бы исключительно от межслойного сдвига. В данной работе испытания на межслойный сдвиг проводились при осевом растяжении образцов в виде параллелепипеда.

ки (размеры  $300 \times 15 \times 6$  мм) с двумя прорезами, расположенными антисимметрично относительно поперечной плоскости симметрии образца. Испытывались две партии образцов, в которых глубина прореза принималась разной соответственно 3,0 и 3,3 мм. Ширина прореза образца и расстояние между ними в обоих случаях были соответственно 1,2 и 10,0 мм. Направление прореза перпендикулярно плоскости армирующих слоев композита. Таким образом, расчетное сечение образца находилось между прорезами, параллельно его оси, и совпадало со срединной плоскостью образца.

Во избежание изгиба, который возможен при растяжении образца с прорезами, образцы устанавливались в специальное приспособление (направляющие), препятствующее изгибу. Использование таких направляющих и выбор расстояния между прорезами не более 10 мм, для избежания изгиба образца и создания сравнительно равномерного распределения касательных напряжений по рабочему сечению, рекомендовано авторами [6].

Ниже обсуждаются экспериментальные данные, полученные в испытаниях органоэластика на статический и малоцикловой плоский изгиб и межслойный сдвиг.

Среднее значение максимального нормального напряжения  $\sigma_{\text{нл}}$  принимаемого за предел прочности органоэластика на кратковременный статический изгиб, составляет примерно 54С МПа, при коэффициенте вариации 5,9%. При этом во всех испытаниях разрушение образцов происходило от нормальных напряжений. Типичный пример такого вида разрушения иллюстрирован в [7].

Максимальное касательное напряжение при рассмотренной нами схеме изгиба было в пределах 15,7—17,6 МПа, что составляет около 3—4% от предела прочности на изгиб. В то же время, это значение напряжения  $\tau_{\text{нл}}$  существенно ниже, чем предел прочности данного органоэластика на межслойный сдвиг.

Среднее значение прочности на межслойный сдвиг  $\tau_{\text{нл}}$  однонаправленного органоэластика, определенное по результатам испытания 20 образцов, составляет 20,6 МПа, при коэффициенте вариации 18,5% и показателе точности эксперимента 4,5%. Следует отметить, что прочность на межслойный сдвиг при глубине прореза 3,0 мм составляет 22,5 МПа, что несколько выше, чем прочность при глубине прореза 3,3 мм. Такое кажущееся увеличение прочности  $\tau_{\text{нл}}$  может быть следствием того, что при надрезе образцов некоторые волокна рабочего сечения не были перерезаны. Это, кстати, обнаруживалось и по виду разрушения образца.

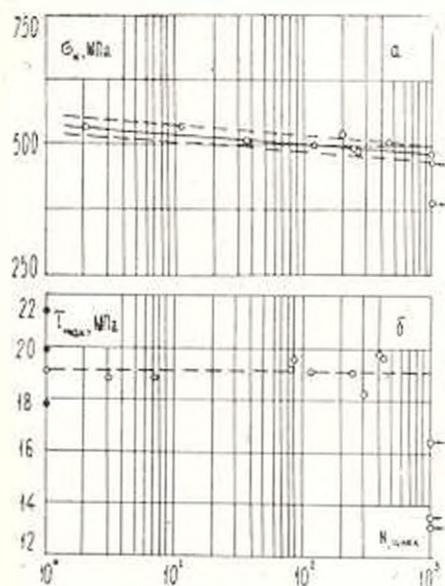
Статистический анализ экспериментальных данных показывает, что зависимость циклической долговечности от напряжения в полудогарифмической системе координат имеет линейный характер (фиг. 1).

Экстраполяция кривой усталости при изгибе, описываемой линейной регрессией

$$\sigma = 547,3 - 23,97 \lg N \quad (\text{МПа})$$

на долговечность  $N=1$  цикл приводит к значению изгибающего напряжения  $\sigma_{\text{изг.цикл}}$ , почти не отличающемуся от статического предела прочности этого материала  $\sigma_{\text{ст.}}$ . Это свидетельствует о практически одинаковых механизмах разрушения органиопластика при статическом кратковременном и пульсирующем малоцикловом изгибе.

На фиг. 1а показана диаграмма, характеризующая усталостную прочность органиопластика при изгибе (коэффициент асимметрии цикла напряжений при изгибе и сдвиге  $r = \frac{\sigma_{\text{min}}}{\sigma_{\text{max}}} = 0,05$ ). На графике штриховыми линиями показан доверительный интервал колебания средних значений циклической прочности и долговечности, соответствующий вероятности 95%. Полученные экспериментальные данные указывают на высокий уровень сопротивляемости органиопластика изгибу. При максимальных напряжениях цикла, составляющих 0,97–0,88 части предела прочности  $\sigma_{\text{ст.}}$ , число циклов до разрушения составляет 10–1000.



Фиг. 1. Прочность органиопластика при малоцикловом изгибе (а) и межзлойном сдвиге (б), частота — 1ц/с и 3ц/с.

На фиг. 1б показаны экспериментальные результаты, дающие определенное представление о прочности однонаправленного органиопластика при малоцикловом межзлойном сдвиге. На результатах усталостного испытания, несомненно, сказывается значительный разброс по прочности материала  $\sigma_{\text{ст.}}$ , выявившийся уже при кратковременном статическом нагружении. На полученных экспериментальных данных трудно построить достоверную корреляционную зависимость  $\tau_{\text{уст.}} - \lg N$ .

Тем не менее, на основании этих данных можно с достаточной надежностью заключить, что для однонаправленного органического касательное напряжение, равное примерно  $0,85-0,95 \tau_0$ , является пределом прочности на межслойный сдвиг на базе  $10^3-10^4$  циклов. Можно также констатировать слабое снижение прочности межслойного сдвига по числу циклов до разрушения.

THE STRENGTH OF THE ORGANIC PLASTIC UNDER STATICAL AND LOW-CYCLE BENDING AND INTERLAYER SHEAR  
N. E. SARKISIAN

ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՊԼԱՍՏԻԿԱՆ ԿՐՈՆՈՒՅՈՒՄԻ ԱՍՏՄԱԿ ԵՎ ՍԻՆՈՎԱՑԻԿԱԿԱՆ ԿՐՈՆՈՒՄԻ ԵՎ ԻՐՁՆԵՐՏՈՒՄԻ ՍԵՂՔԻ ԳԵՊՔՈՒՄԸ

Ն. Ե. ՏԱՐԿԻՍԻԱՆ

*Ուսումնասիրված է միառիզիված սրբանապաստի ստատիկ և սահափա-  
ցիկապին ամրությունը նորթ ծանան և միջշերտային սահքի դեպքում: Բերված  
են ամրության և բարձրության ցիկլերի միջև կախվածությունը փորձնական կո-  
րելը:*

ЛИТЕРАТУРА

1. Разрушение конструкций из композитных материалов. Под ред. В. П. Тамужа и В. П. Протасова. — Рига: Зинатне, 1986. 264 с.
2. Неров Б. В., Скубара А. М., Машинская Г. П., Булавс Ф. Я. Особенности разрушения органических пластиков и их влияние на прочность. — Механика композитных материалов, 1979, №2, с. 317—321.
3. Саркисян Н. Е. Анизотропия малоциклового усталостной прочности и деформативности стеклопластика при растяжении. — Механика полимеров, 1976, №3, с. 425—429.
4. Саркисян Н. Е. Анизотропия малоциклового усталостной прочности стеклопластика при сжатии. — Механика полимеров, 1978, №3, с. 458—461.
5. Тарновольский Ю. М., Князев Т. Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. — М.: Химия, 3-е изд., перераб., допол., 1981—272 с.
6. Menges G., Kleinholz R. Vergleich verschiedener Verfahren zum Bestimmen der Interlaminaeren Scherfestigkeit. — Kunststoffe, Bd. 59, 1969, № 12, с. 959—966.
7. Методы статических испытаний армированных пластиков. Под ред. Ю. М. Тарновольского. — Рига: Зинатне, 1972. 228 с.

Ереванский политехнический институт  
им. К. Маркса

30.V.1989