

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 620.17.172/175

О практике оценки прочности неметаллических волокнистых композиционных материалов при высоких температурах

А. В. Богомолов, В. К. Федчук

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

Приведены экспериментальные данные о влиянии температуры на характеристики прочности углепластика при растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге. Установлено, что определяемые при различных схемах изгиба значения сопротивления сдвигу отличаются.

Ключевые слова: анизотропия, углепластик, ортотропный материал, высоко-температурная прочность, сдвиг, основа, уток ткани.

Многие ответственные несущие элементы авиационной и ракетно-космической техники изготавливают из неметаллических волокнистых композиционных материалов, обладающих технологичностью и высокими удельными характеристиками прочности. Преимущества этих материалов по сравнению с другими в наибольшей степени проявляются при изготовлении конструктивных элементов оболочечного или панельного типа. Оценка пригодности использования данных материалов в конструкции в первую очередь требует получения научно обоснованных характеристик прочности и жесткости при простых видах нагружения (растяжение, сжатие, изгиб).

Для анизотропных материалов, как правило, не подходят традиционные критерии прочности в функции главных напряжений, а также отсутствуют постоянные соотношения между предельными значениями нормальных и касательных напряжений. Поэтому наряду с испытаниями этих материалов на растяжение и сжатие при оценке предельного состояния волокнистых композитов крайне необходимы испытания на сдвиг.

Для определения сопротивления разрушению в широком диапазоне температур при сдвиге, особенно межслоевом, широко используются образцы с надрезами, в том числе образцы Иосипеску [1] при испытаниях на изгиб. Однако существующие методики обладают рядом недостатков, связанных с возникновением концентрации напряжений в надрезах, краевым эффектом и эффектом “перерезанных нитей” [2, 3]. Если испытывают материалы в плоскости армирования, то, как правило, нельзя добиться разрушения в рабочем сечении, что существенно затрудняет обработку и анализ получаемых результатов.

Таким образом, определение характеристик сопротивления сдвигу волокнистых композитов в плоскости армирования, особенно при высоких температурах, является сложной методической задачей.

© А. В. БОГОМОЛОВ, В. К. ФЕДЧУК, 2003

ISSN 0556-171X. Проблемы прочности, 2003, № 2

143

Представляется важным получение таких характеристик в широком интервале температур при различных схемах нагружения с однородным напряженным состоянием в исследуемом образце. Определенными преимуществами с этой точки зрения обладает кручение призматических стержней [4, 5].

При наличии методик подобных испытаний на растяжение, сжатие и чистый изгиб [6, 7] методики испытаний на сдвиг и экспериментальные результаты до настоящего времени отсутствовали.

Ниже в таблице и на рисунке приведены результаты испытаний на растяжение, сжатие, изгиб и сдвиг углепластика, полученного укладкой основа по основе углеродной ткани “Урал-ТР” на фенолоформальдегидном связующем “ФН”, в температурном диапазоне 293...1073 К.

Характеристики прочности углепластика при растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге в диапазоне температур 293...1073 К

T, K	Прочность при растяжении σ^P, MPa	Прочность при сжатии σ^C, MPa	Прочность при изгибе σ^H, MPa	Предельный сдвиг τ^C, MPa	Предельный сдвиг τ^H, MPa (расчет)
293	$\frac{89,65}{37,14}$	$\frac{161,12}{181,11}$	$\frac{152,94}{51,11}$	8,42	$\frac{10,92}{3,65}$
473	$\frac{81,50}{30,96}$	$\frac{94,64}{105,60}$	$\frac{107,71}{37,17}$	6,33	$\frac{7,69}{2,69}$
573	$\frac{79,13}{30,10}$	$\frac{76,27}{80,54}$	$\frac{97,11}{27,19}$	5,99	$\frac{6,93}{1,90}$
673	$\frac{66,37}{14,87}$	$\frac{35,16}{32,69}$	$\frac{55,97}{18,06}$	2,70	$\frac{3,99}{1,29}$
773	–	$\frac{17,34}{15,71}$	–	1,50	–
873	$\frac{15,45}{3,19}$	$\frac{7,23}{10,42}$	$\frac{12,63}{2,22}$	0,80	$\frac{0,90}{0,15}$
1073	$\frac{9,55}{-}$	–	–	–	–

Примечания: 1. Над чертой приведены значения $\sigma_1^P, \sigma_1^C, \sigma_1^H, \tau_1^C, \tau_1^H$ для основы, под чертой – $\sigma_2^P, \sigma_2^C, \sigma_2^H, \tau_2^C, \tau_2^H$ для утка. 2. Каждое значение является средним по данным не менее пяти измерений.

Образцы для испытаний вырезали в направлении осей симметрии (основа, уток ткани) ортотропного материала из специально изготовленных пластин толщиной $h = 10$ мм. Образцы для испытаний на растяжение выполняли в виде двусторонних лопаток с рабочим участком размером $10 \times 10 \times 25$ мм, на сжатие – в виде коротких прямоугольных стержней $10 \times 10 \times 20$ мм. Испытания на сжатие показали большую чувствительность материала к изменению температуры по сравнению с испытаниями на растяжение.

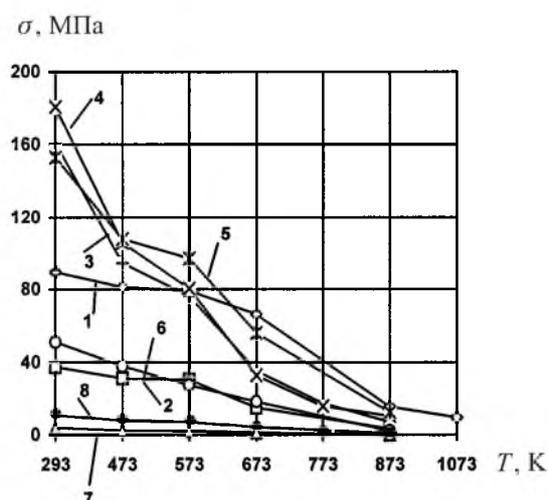
Испытания на четырехточечный (чистый) изгиб широко применяются для определения упругих и прочностных характеристик на участке с однородным напряженным состоянием. При этом использовали образец

прямоугольного сечения шириной $b = 15$ мм и толщиной $h = 10$ мм. В этом случае длина пролета L составляла 120 мм, величина участка чистого изгиба $l = 50$ мм. При определении характеристик межслойного сдвига при поперечном изгибе коротких образцов длина пролета $L = 50$ мм.

Предельный сдвиг τ^c при поперечном изгибе коротких балок и сдвиговую составляющую напряжений $\tau^н$ вне зоны чистого изгиба при четырехточечном изгибе образца определяли из соотношений

$$\tau^c = \frac{3P}{4bh}, \quad \tau^н = \frac{\sigma h}{2(L-l)},$$

где P, σ – усилие разрушения и максимальное нормальное напряжение при соответствующем изгибе.



Зависимость прочности углепластика от температуры при различных видах испытаний. (Обозначения характеристик см. в таблице: 1 (\diamond) – σ_1^p ; 2 (\square) – σ_2^p ; 3 (+) – σ_1^c ; 4 (X) – σ_2^c ; 5 (*) – $\sigma_1^н$; 6 (O) – $\sigma_2^н$; 7 (\triangle) – τ_1^c ; 8 (\bullet) – $\tau_1^н$.)

Из данных таблицы и рисунка, где представлены максимальные расчетные значения сдвиговой составляющей напряжений вне зоны чистого изгиба, следует, что они превышают предельные значения сдвиговых напряжений, полученные на коротких балках. Отметим, что размеры образца и расстояния между опорами при четырехточечном изгибе выбирались таким образом, чтобы избежать разрушения от “расслоения” образца в зоне чистого изгиба. На более низкие значения предельной сдвиговой составляющей при изгибе коротких балок, по нашему мнению, повлияло смятие материала под центральной опорой из-за превышения значений удельного давления в два раза. Поэтому результаты испытаний на сдвиг оказываются заниженными и требуют тщательного анализа.

Заметим, что предельные значения межслойной прочности при сдвиге исследованных углепластиков с учетом специфики их строения находятся ближе к показателям, получаемым при четырехточечном изгибе, и могут

служить нижней границей для предельных значений напряжений сдвига в плоскости материала.

Полученные результаты исследования в интервале температур 293...1073 К свидетельствуют о важности определяемой сдвиговой составляющей напряжений вне зоны чистого изгиба при четырехточечном изгибе. Обосновывается несовпадение значений прочности, полученных при различных схемах нагружения.

Резюме

Наведено експериментальні результати щодо впливу температури на міцність вуглепластиків при розтязі, стиску, згині та зсуві. Виявлено, що значення опору зсуву при різних схемах згину відрізняються.

1. Винсон Ж. Р., Сираковский Р. Л. Поведение конструкций из композиционных материалов / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1991. – 264 с.
2. Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
3. Кристенсон Р. Введение в механику композитов. – М.: Мир, 1982. – 334 с.
4. Богомолов А. В., Борисенко В. А. Установка для испытания композиционных материалов на кручение при высоких температурах до 330 К // Пробл. прочности. – 1992. – № 1. – С. 87 – 88.
5. Борисенко В. А., Богомолов А. В., Мишкин А. Н. Сдвиговые испытания полимерных композиционных материалов: Тр. конф. “Полимерные композиты в промышленности” (Славско, 3–5 марта 1998 г.): Тез. докл. – Киев: Об-во “Знание”, 1998. – С. 30 – 32.
6. Эскин Э. А., Федчук В. К. Влияние типа тканого наполнителя на механические характеристики углепластиков в интервале температур 293...1000 К // Пробл. прочности. – 1987. – № 11. – С. 76 – 82.
7. Борисенко В. А., Грачева Л. И., Мишкин А. Н. Прочность и тепловое деформирование углеродных композиционных материалов при высоких температурах. Сообщ. 1. Экспериментальное оборудование и методы исследования // Там же. – 1995. – № 10. – С. 81 – 87.

Поступила 14. 11. 2001