

Устранение погрешностей в определении сдвиговых характеристик полимерных волокнистых материалов

А. В. Богомолов

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

Указаны способы устранения погрешностей в некоторых современных стандартах, используемых при определении характеристик полимерных волокнистых композиционных материалов, испытываемых на сдвиг.

Ключевые слова: чистый сдвиг, адгезия, сдвиговая деформация, ортотропный материал, анизотропия.

Полимерные волокнистые композиционные материалы (ПВКМ) используются в силовых конструкциях современной авиации, в панелях солнечных батарей космических аппаратов, а также в других изделиях, требования к надежности которых очень высокие.

Для контроля особенно чувствительных к адгезии наполнителя с матрицей сдвиговых характеристик разрабатываемых ПВКМ внедряются новые стандарты ASTM [1, 2], ГОСТ [3]. На рис. 1 представлены схемы испытаний, взятые из этих стандартов.

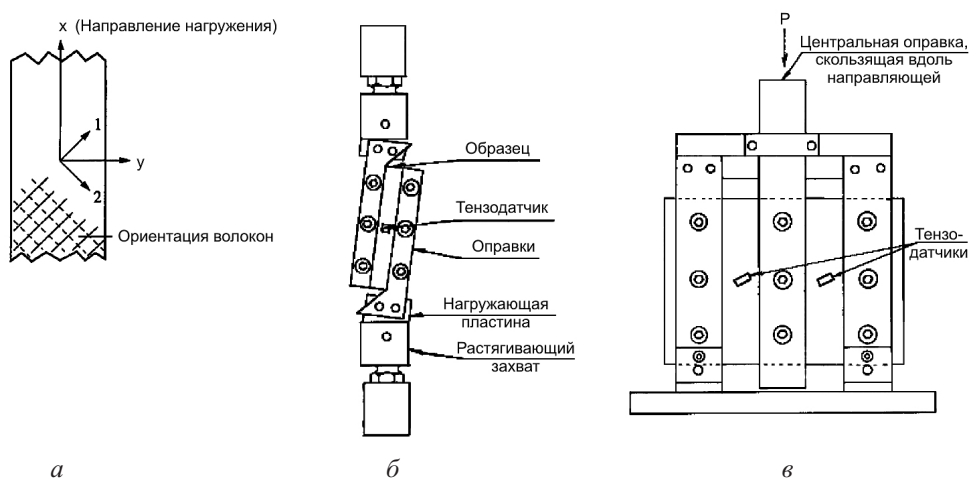


Рис. 1. Схемы испытаний ПВКМ, приведенные в [1] – а, [2] – б и [2, 3] – в.

Важнейшим моментом при испытаниях на сдвиг является наличие состояния чистого сдвига в расчетном объеме образца. Возможность практической реализации такого состояния зависит от вида анизотропии материала. Так, если по обоим главным направлениям ортотропного материала упругие характеристики различаются, то это состояние достигается лишь частично, и значение модуля сдвига определяется с погрешностью.

Поэтому согласно современным методикам испытания на сдвиг ПВКМ стараются проводить по таким направлениям и в таких диапазонах нагрузок, где напряжения сдвига оказывают заметное влияние, а расчетные формулы содержат минимум неизвестных параметров упругости. Это позволяет отказаться от сложных образцов и

приспособлений, что важно при испытаниях в широком температурном диапазоне, чем и отличаются стандарты [1–3]. Причем стандарт [3] является сокращенным вариантом [2].

К сожалению, в отмеченных стандартах имеются ошибки и неясности, освещение которых является целью работы.

Как известно [4–6], выражение для определения деформации сдвига можно получить, рассматривая геометрическое преобразование квадрата в ромб под действием касательных напряжений и исходя из физических соображений для плоского напряженного состояния.

В стандарте [3] выражение для приращения деформации сдвига согласно [4] имеет вид

$$\Delta\gamma = 2\varepsilon_{45^\circ}, \quad (1)$$

а не как в нынешней его редакции.

Расчетные схемы для испытаний на одно- [4] и двухосный [6] сдвиг представлены на рис. 2, согласно которым выражение для сдвига γ получают с помощью простых геометрических и тригонометрических преобразований.

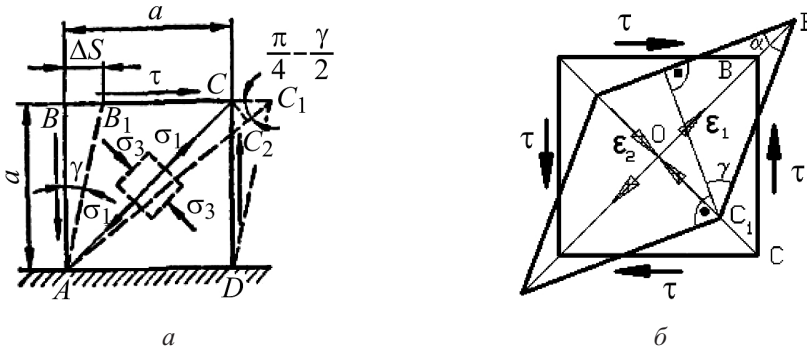


Рис. 2. Расчетные схемы для испытаний на сдвиг, приведенные в [4] – а и [6] – б.

В стандарте ASTM [1] в выражении для деформации сдвига γ_{12i} не учитывается, что поперечная компонента линейной деформации ε_{yi} является сжимающей, т.е. отрицательной, а это приводит при вычислении к завышенным значениям модуля сдвига G_{12} .

Из общего выражения для деформации деформация сдвига для угла θ будет [5, 6]

$$\gamma_{12} = (\varepsilon_y - \varepsilon_x) \sin 2\theta + \gamma_{xy} \cos 2\theta, \quad (2)$$

где 1, 2 и x, y – главные и отсчетные направления осей на рис. 1, а.

При $\theta = 45^\circ$ с учетом знака для деформации сдвига получим формулу, которую необходимо использовать в [1]. А в общем случае для ПВКМ в (2) следует учитывать деформацию γ_{xy} в исходной точке, зависящую от компонентов напряжения через коэффициенты влияния [7].

Выражение для деформации сдвига имеет вид

$$\gamma_{12i} = \varepsilon_{xi} + \varepsilon_{yi}, \quad (3)$$

а не

$$\gamma_{12i} = \varepsilon_{xi} - \varepsilon_{yi}. \quad (4)$$

Значение для модуля сдвига G_{12} получают из формулы

$$G_{12} = \frac{\Delta\tau_{12}}{\Delta\gamma_{12}}, \quad (5)$$

где $\Delta\tau_{12}$ и $\Delta\gamma_{12}$ – приращения касательных напряжений и деформаций сдвига.

Таким образом, указаны способы устранения погрешностей в некоторых современных стандартах, используемых при определении характеристик полимерных композиционных материалов, испытываемых на сдвиг.

Резюме

Указано способи усунення похибок у деяких сучасних стандартах, що використовуються при визначенні характеристик полімерних волокнистих композиційних матеріалів, випробуваних на зсув.

1. *ASTM D3518/D 3518M-94*. Standard Test Method for In-Plane Shear Response of Polymer Matrix Composite Materials by Tensile Test of a $\pm 45^\circ$ Laminate.
2. *ASTM D 4255/D 4255M-01*. Standard Test Method for In-Plane Shear Properties of Polymer Matrix Composite Materials by the Rail Shear Method.
3. *ГОСТ Р 50578-93*. Метод испытания на сдвиг перекашиванием пластины. – Введ. 01.07.94.
4. *Спротивление* материалов: Учебник для вузов / Под общ. ред. Г. С. Писаренко. – Киев: Вища шк., 1979. – 696 с.
5. *Тимошенко С. П., Гудьер Дж.* Теория упругости: Пер. с англ. / Под ред. Г. С. Шапиро. – М.: Наука, 1979. – 500 с.
6. *Скудра А. М., Булавс Ф. Я., Роценс К. А.* Ползучесть и статическая усталость армированных пластиков. – Рига: Зинатне, 1971. – 240 с.
7. *Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я.* Методы статических испытаний армированных пластиков. – М.: Химия, 1981. – 272 с.

Поступила 10. 06. 2014