

УДК 678.057: 620.17: 539.37

К. А. Карапетян

Влияние начальной разориентации армирования на механическое поведение слоистых стеклопластиков при статических нагрузениях

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 10/XII 2004)

Приведенные в литературе немногочисленные опытные данные свидетельствуют об ухудшении прочностных [1-5] и деформационных (при циклическом нагружении) [6] свойств армированных композиционных материалов вследствие технологического отклонения направления волокон от проектируемого (начальная разориентация армирования). Во избежание этого недостатка предлагается установить жесткие допуски на углы армирования композитов [5]. Однако наблюдения показывают, что даже при изготовлении опытных образцов на основе стеклоткани в лабораторных условиях по технологии [7] величина отклонения угла армирования от заданного может достигать 6-8° [6].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования влияния начальной разориентации армирования на прочность и деформационные свойства тканевых стеклопластиков при статическом одноосном растяжении и при чистом сдвиге.

Экспериментальная часть исследований была проведена с использованием как трубчатых (с внутренним диаметром 38 мм, толщиной стенки 2.25 мм и длиной 285 мм), так и плоских (с рабочим сечением 10×4 и 25×6 мм) образцов, размеры которых находятся в согласии с требованиями соответствующих рекомендаций [8] и стандартов [9]. На трубчатых образцах определяли прочность Π_{11}^+ , модуль упругости E_{11}^+ вдоль продольной оси Z, Π_{12} и модуль сдвига G_{12} , а на плоских образцах-прочности Π_{11}^+ , Π_{22}^+ , модули упругости E_{11}^+ , E_{22}^+ (по направлениям, соответственно, вдоль и поперек продольной оси образцов) и коэффициенты Пуассона ν_{12} , ν_{13} .

Опытные образцы были изготовлены на основе пропитанной модифицированной эпоксидной смолой стеклоткани (пре-прег) полотняного переплетения марки Т-23 (ТУ-П-231-76) с плотностью (число нитей на 1 см длины) 36:20 (основа:уток), производимой Севанским заводом «Электростеклоизоляция» (Республика Армения). Подробные сведения о технологии изготовления труб приведены в работе [10]. Опытные плоские же образцы были вырезаны из листов, полученных методом прямого горячего прессования тканевого пре-прега с удельным давлением 10 МПа. Величина коэффициента армирования образцов μ составляет 0.45 ($\mu_1 = 0.29$, $\mu_2 = 0.16$).

Для испытания были изготовлены трубчатые и плоские образцы, у которых углы между направлениями основы ткани и их продольной оси составляли $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 8^\circ$. Повторность опытов в каждом случае испытаний была принята 6-кратной. При этом максимальное значение коэффициента вариации полученных идентичных характеристик не превышало

0.11 для прочности и 0.14 для деформативных характеристик. До проведения исследований образцы в течение 8 лет хранились в лабораторном помещении при температуре $20 \pm 6^\circ\text{C}$ и при относительной влажности $60 \pm 8\%$.

Согласно полученным экспериментальным данным, величины прочности и модуля упругости при растяжении у стеклотканевых трубчатых образцов оказались больше, чем у плоских, как при угле армирования $\varphi = 0^\circ$, так и при $\varphi = 8^\circ$, но эта разница незначительна.

Отметим, что аналогичное явление было обнаружено и при испытании 13-слойных углепластиковых трубчатых и плоских образцов с углом армирования $\varphi = 0^\circ$ [11].

Результаты опытов, проведенных в рамках настоящей работы, также показывают, что отклонение угла армирования на 8° от нулевого его значения практически не влияет на прочность как трубчатых, так и плоских образцов, что находится в согласии с данными, полученными нами ранее, при испытании стеклопластиковых трубчатых образцов в более малом возрасте [6]. Средние значения прочностных характеристик для тканевого стеклопластика можно принять равными $\Pi_{11} = 142$, $\Pi_{22} = 77$, $\Pi_{12} = 47$ МПа.

Согласно приведенным в таблице данным, экспериментальные значения модуля Юнга во взаимортогональных направлениях E_{11} и E_{22} и модуля сдвига G_{12} у тканевого стеклопластика при угле армирования $\varphi = 8^\circ$ оказались соответственно до 30; 24 и 20% меньшими, чем в случае $\varphi = 0^\circ$. Значения же коэффициентов Пуассона ν_{12} , а также ν_{13} для этих углов армирования практически не отличались друг от друга и составили приблизительно 0.16 и 0.20 соответственно (см. таблицу).

В таблице приведены также величины упругих характеристик тканевого стеклопластика, рассчитанные на основе упругих постоянных волокон, связующего и коэффициента армирования материала μ , согласно формулам, выведенным в работах [12] и [13]: при этом для армирующего стекловолокна принималось $E_a = 7 \times 10^4$ МПа, $\nu_a = 0.23$, а для связующего - $E_{св} = 2.8 \times 10^3$ МПа, $\nu_{св} = 0.4$. Отметим, что величины характеристик стеклопластика с углом армирования $\varphi = 8^\circ$ были рассчитаны на основе соответствующих характеристик, определенных для случая $\varphi = 0^\circ$, с использованием формул преобразования коэффициентов податливости ортотропного тела при переходе от одной системы координат к другой [14].

Из приведенных в таблице данных следует, что у опытных образцов с нулевым углом армирования расчетные значения модулей Юнга E_{11} и E_{22} и сдвига G_{12} , а также коэффициента Пуассона ν_{13} оказались существенно большими, чем экспериментально определенные (максимальное отклонение указанных значений наблюдается у E_{11} и составляет 36 %). Для ν_{12} эти значения практически не отличаются друг от друга.

В случае образцов с углом армирования $\varphi = 8^\circ$ расчетные величины получаются существенно больше экспериментальных для всех упругих характеристик (см. таблицу). При этом максимальная величина этого отклонения составляет приблизительно 55% у E_{11} и ν_{12} .

Экспериментальные и расчетные значения упругих характеристик тканевого стеклопластика

Характеристики при ориентации армирования образцов φ^0		E_{11}	E_{22}	G_{12}	ν_{12}	ν_{13}
		МПа $\times 10^{-3}$				
Экспериментальные	0	16.20-17.65	11.00-11.85	1.96-2.10	0.151-0.159	0.186-0.205
	8	12.32-13.53	9.05-9.42	1.68-1.74	0.150-0.165	0.198-0.206
Рассчитанные согласно [12] и [13]	0	22.98	14.98	2.32	0.148	0.254
	8	20.04	13.85	2.39	0.246	0.227

Наблюдаемую существенную разницу между расчетными и экспериментально определенными значениями одних и тех же упругих характеристик тканевого стеклопластика можно объяснить, в основном, искривлением армирующих стекловолокон при вязке стеклоткани. В связи с этим отметим, что в работах [12] и [13] при выведении соответствующих формул для расчета упругих характеристик композиционных материалов предполагается прямолинейность армирующих ниток в материале.

На рисунке приведены диаграммы напряжения-деформации, построенные на основе данных, полученных в результате испытания трубчатых образцов соответственно на осевое растяжение (а), простое кручение (б) и плоских образцов на растяжение (в).

Согласно диаграммам, приведенным на правых полях рис. а и б и на рис. в, кривые деформации образцов с $\varphi = 8^\circ$ проходят ниже соответствующих кривых деформации образцов с $\varphi = 0^\circ$. При этом величина отношения деформаций образцов с $\varphi = 8^\circ$ и $\varphi = 0^\circ$, зафиксированных при одном и том же уровне напряжения, составляет 1.25 -1.3 для рассматриваемых здесь случаев испытаний.

В результате прямых измерений было выявлено, что в случае растяжения труб с углом армирования $\varphi = 8^\circ$ возникают существенные сдвиговые деформации (см. левое поле рис. а): при уровне напряжения $\sigma_{11}^+ = 0.6 \Pi_{11}^+$ величина сдвиговых деформаций γ_{12} составляет приблизительно 5.8×10^{-3} , в то время как значение продольных деформаций этих же образцов ε_{11} составляет 12.6×10^{-3} .

Было обнаружено также, что в случае кручения труб с углом армирования $\varphi = 8^\circ$ наблюдаются и осевые деформации (см. левое поле рис. б): при уровне напряжения $\sigma_{12}^+ = 0.6 \Pi_{12}^+$ значение продольных деформаций ε_{11} составляет приблизительно 0.62×10^{-3} , в то время как величина деформации сдвига этих же труб γ_{12} составляет 20.4×10^{-3} .

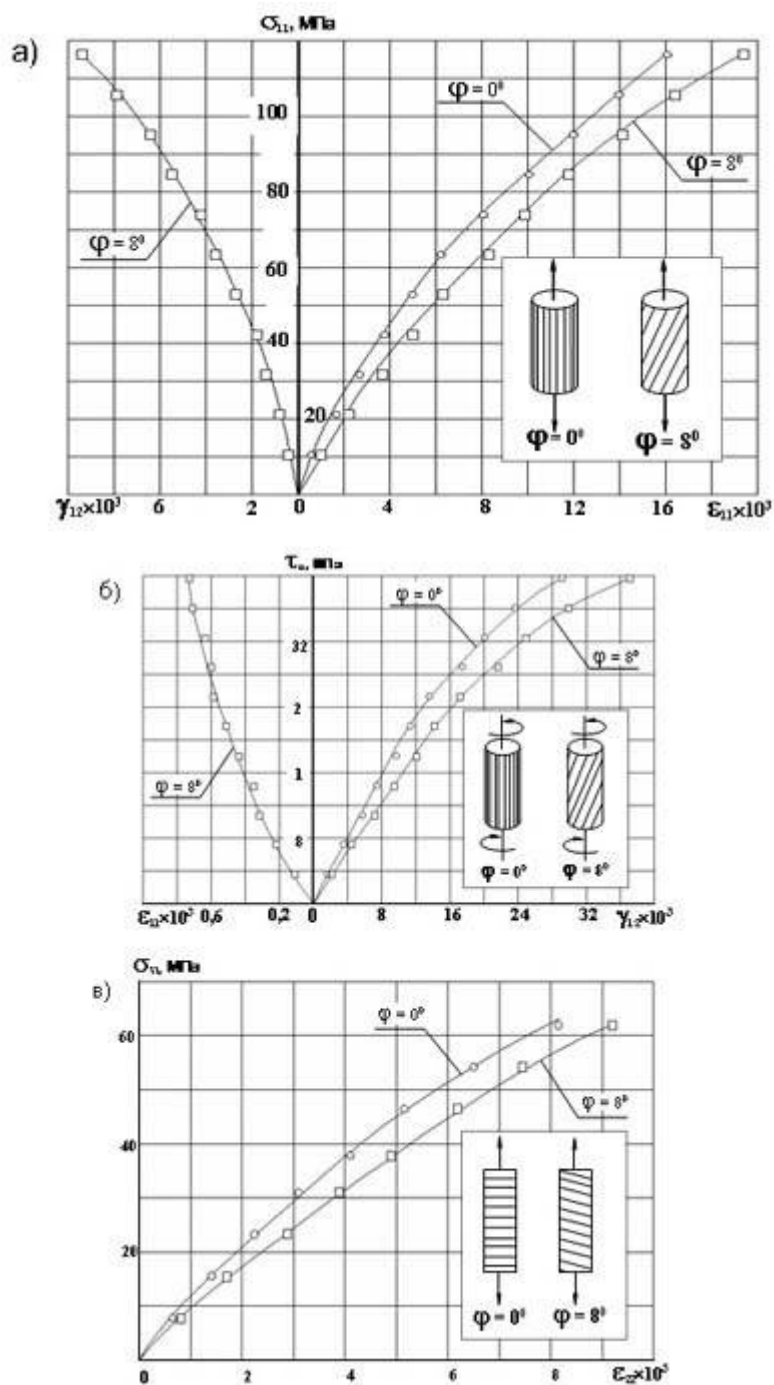
В работе [15] теоретически показано, что оболочка, материал которой является ортотропным и главные направления упругости которой не совпадают с ее геометрическими направлениями, под действием равномерно распределенного давления или растяжения претерпевает деформации кручения относительно оси симметрии. И наоборот, при кручении такой оболочки возникают продольные перемещения.

Из приведенных на рис. а и б диаграмм следует, что теоретические результаты работы

[15] подтверждаются результатами экспериментов, проведенных на стеклотканевых тонкостенных трубчатых образцах с углом армирования $\varphi = 8^\circ$.

Таким образом, при проектировании стеклотканевых тонкостенных трубчатых элементов с нулевым углом армирования следует учесть, что в ходе технологического процесса изготовления возможна разориентация армирования, приводящая к существенному уменьшению модулей Юнга и сдвига, а также к возникновению существенных сдвиговых деформаций труб при растяжении и осевых деформаций при кручении.

Величины упругих характеристик тканевых стеклопластиков, рассчитанные на основе количественного соотношения и упругих постоянных их компонентов с помощью известных формул, выведенных в предположении



Кривые деформирования стеклопластиковых образцов с углом армирования φ° : трубчатых, подвергнутых осевому растяжению (а), простому кручению (б) и плоских, подвергнутых одноосному растяжению (в).

прямолинейности ниток в материале, могут значительно превосходить экспериментально полученные данные. Тем не менее при проектировании тканевых стеклопластиков с заранее заданными свойствами и с нулевым углом армирования эти формулы можно использовать в качестве исходных.

Институт механики НАН РА

Литература

1. *Тарнопольский Ю. М., Розе А. В., Портнов Г. Г.* - Механика полимеров. 1969. №1. С. 140-149.
2. *Тарнопольский Ю. М., Розе А. В., Жигун И. Г., Гуняев Г. М.* - Механика полимеров. 1971. №4. С. 676-685.
3. *Жигун И. Г., Поляков В. А.* Свойства пространственно-армированных пластиков. Рига. Зинатне. 1978. 215 с.
4. *Ермоленко С. Ф., Ермоленко А. Ф.* - Механика композитных материалов. 1991. №1. С. 40-44.
5. *Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я.* Методы статических испытаний армированных пластиков. М. Химия. 1981. 272 с.
6. *Карапетян К. А.* - Изв. НАН Армении. Механика. 2001. Т. 54. №2. С. 70-79.
7. *Мартirosян М. М.* - Промышленность Армении. 1971. №10. С. 56-57.
8. *Pagano N. J., Whitney J. M.* - J. Compos. Mater. 1970. July. P. 360-378.
9. Пластмассы. Методы испытания на растяжение. ГОСТ 11262-80. М. Гос. ком. СССР по стандартам. 1980. 14 с.
10. *Карапетян К. А.* - ДНАН Армении. 2000. Т. 100. №2. С. 122-125.
11. *Hoggat J. T.* In: Composit Materials. Testing and Design. ASTM. STP. №460. Philadelphia. 1969. P. 48-61.
12. *Аболиньш Д. С.* - Механика полимеров. 1965. №4. С. 52-59.
13. *Аболиньш Д. С.* - Механика полимеров. 1966. №3. С. 372-379.
14. *Лехницкий С. Г.* Анизотропные пластинки. М. Гос. изд. Техн. - теорет. лит. 1957. 463 с.
15. *Мовсисян Л. А.* - Изв. АН Арм. ССР. Физ-мат. науки. 1958. №4. С. 137-144.

Կ. Ա. Կարապետյան

Ամրանավորման ուղղության նախնական ապակողմնորոշման ազդեցությունը շերտավոր ապակեպլաստների մեխանիկական վարքի վրա ստատիկ բեռնավորումների դեպքում

Ուսումնասիրվել է պատրաստման փուլում ամրանավորման ուղղության հնարավոր շեղման ազդեցությունը շերտավոր ապակեպլաստե հարթ և խողովակաձև փորձանմուշների ամրության և դեֆորմատիվության վրա՝ ստատիկ միառանցք ձգման և պարզ ոլորման պայմաններում: Ցույց է տրված, որ ամրանավորման նշված շեղումը, գործնականում չազդելով շերտավոր ապակեպլաստների ամրության վրա, կարող է հանգեցնել Յունգի և սահքի մոդուլների մեծությունների էական նվազմանը, իչպես նաև այդպիսի նյութերից պատրաստված բարակապատ խողովակների մոտ էական սահքի և զգալի առանցքային դեֆորմացիաների առաջացմանը՝ դրանք, համապատասխանաբար, միառանցք ձգման և ոլորման ենթարկելիս:

K. A. Karapetyan

Influence of Initial Deflection of Reinforcement Orientation on the Mechanical Behavior of Layered Glass-reinforced Plastics Under Statical Loading

The influence of the possible deflection of reinforcement orientation in the producing stage of the flat and tubular specimens from layered glass-reinforced plastic on their strength and strain properties at the uniaxial tension and simple torsion is investigated.

It is obtained that the above mentioned deflections practically do not influence on the strength of glass-reinforced plastic, but it can lead to the considerable decrease of the values of Young's modulus and shear modulus. These deflections can be the reason of origin of the considerable high shear and axial strains of the thin-walled glass-reinforced plastic tubes under the uniaxial tension and simple torsion correspondingly.