

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЛТРУЗИОННОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ВДОЛЬ И ПОПЕРЕК ВОЛОКОН

Посторонко Никита Константинович

Научный руководитель: к.т.н., доцент, зав. каф. МДК Данилов Егор Владимирович

Ключевые слова: стеклопластик, прочность, модуль упругости, анизотропия, метод испытания.

Цель работы

Определение предела прочности и модуля упругости при растяжении в направлении вдоль и поперек волокон стеклопластиков экспериментальным путем.

Объект исследования

Образцы стеклопластиков прямоугольной формы изготовленные пултрузионным методом.

Предмет исследования

Модуль упругости и предел прочности стеклопластиков при растяжении в направлении вдоль и поперек волокон.

Метод лабораторного исследования

Испытания на растяжение проводились на двух машинах: универсальная электромеханическая машина Instron-5969 (рисунок 2а) с встроенным экстензометром, позволяющая проводить испытания с нагрузкой до 50 кН, использовалась для определения растяжения поперек волокон и модуля упругости в двух направлениях анизотропии, а сервогидравлическая испытательная машина с компьютерным управлением POWERTEST U-600 с максимально возможным нагружением образцов до 600 кН – для растяжения вдоль волокон. Размеры пластин для растяжения поперек волокон приняты толщиной 10 мм с генеральными размерами 150x20 мм по 5 образцов с постоянной влажностью $W = 10 \pm 1\%$. Пластины для растяжения вдоль волокон соответствуют толщине в 10 мм с размерами 250x25 мм по 6 образцов с постоянной влажностью $W = 10 \pm 1\%$. В помещении в процессе эксперимента поддерживалась температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха $65 \pm 5\%$.



Рисунок 1 - а) универсальная электромеханическая машина Instron-5969
б) сервогидравлическая испытательная машина с компьютерным управлением POWERTEST U-600

Перед испытаниями для каждого образца выполнялись измерения геометрических размеров. Все измерения проводились после кондиционирования образцов. После этого образцы помещались в машину, закреплялись захватывающим приспособлением и доводились до разрушения или до максимально возможной нагрузки испытательной машины (в случае определения модуля упругости вдоль волокон). По ним построены диаграммы зависимости «Нагрузка-Перемещение», с целью определения максимальной разрушающей нагрузки P_{\max} и соответствующего перемещения. Для определения прочности поперек волокон и модулей упругости нагружение образцов осуществляли непрерывно действующей нагрузкой со скоростью перемещения нагружающего приспособления 1 мм/мин.



Рисунок 2 – Не доведенный до разрушения из-за проскальзывания образец

При закреплении образца при растяжении вдоль волокон непосредственно в захватывающий механизм испытательной машины без дополнительных манипуляций, было невозможно доведение до разрушения. Методика проведения испытаний требовала корректировок, так как при достижении нагрузки до 4000 Н происходило выскальзывание образца (рисунок 2) из захватного механизма машины. На одном из этапов решения проблемы проводились испытания с использованием алюминиевых накладок с предварительным сверлением в них и в образце отверстий под нагели (рисунок 4а), но происходило скалывание (рисунок 3б). Итоговым методом испытания выбран следующий алгоритм:

- 1) образец в местах захвата тщательно ошкуриваются и обезжириваются;
- 2) на подготовленную пластину наносится клей (в данном случае цианоакрилатный) и прикладываются алюминиевые пластины (рисунок 4);
- 3) после полного высыхания и затвердевания клеевого соединения в течение 24 часов производится испытания с постоянной скоростью нагружения до полного разрушения.

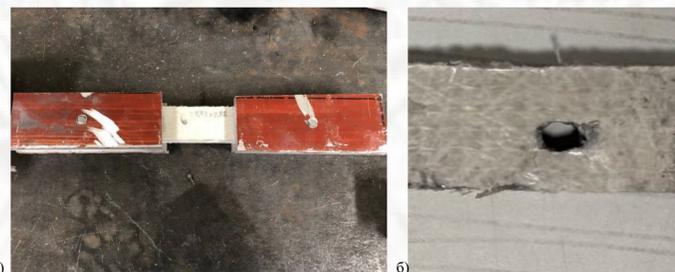


Рисунок 3 - а) образец с использованием алюминиевых накладок с предварительным сверлением в них и в образце отверстий под нагели б) скалывание в гнезде пластины



Рисунок 4 - Образцы с приклеенными алюминиевыми накладками

Для данного вида разрушения была выбрана скорость 5 мм/мин, т.к. на меньшей скорости могло происходить выскальзывание образца. Прочность определялась как отношение максимальной разрушающей нагрузки к площади поперечного сечения. Модуль упругости определялся согласно ГОСТ 11262.1 (подраздел 10.3):

$$E = \frac{\sigma'' - \sigma'}{\varepsilon'' - \varepsilon'} \quad (1)$$

где E – модуль упругости;

ε' – относительное удлинение в первом участке упругой зоны;

ε'' – относительное удлинение во втором участке упругой зоны;

σ' – нормальное напряжение соответственно относительному удлинению в первом участке упругой зоны;

σ'' – нормальное напряжение соответственно относительному удлинению во втором участке упругой зоны.

Деформации принимались согласно перемещению штока машины. Результаты испытания образцов представлены в таблице 1.



Рисунок 5 - Образцы после испытаний а) поперек волокон, б) вдоль волокон

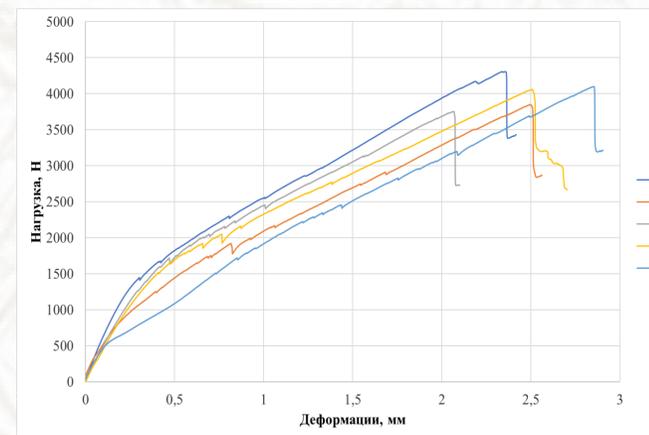


Рисунок 6 - Диаграмма «Нагрузка-деформации» при растяжении поперек волокон

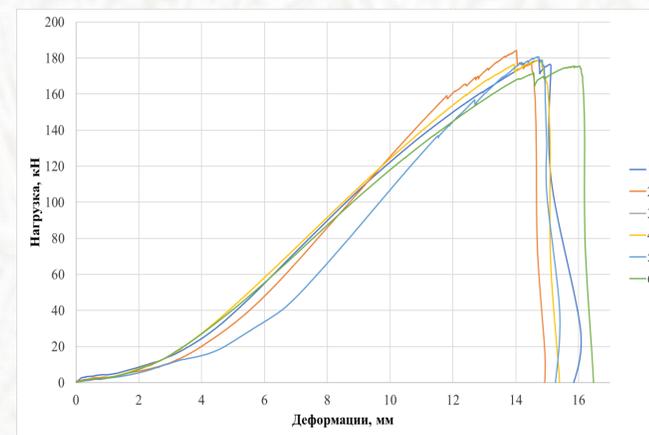


Рисунок 7 - Диаграмма «Нагрузка-деформации» при растяжении вдоль волокон

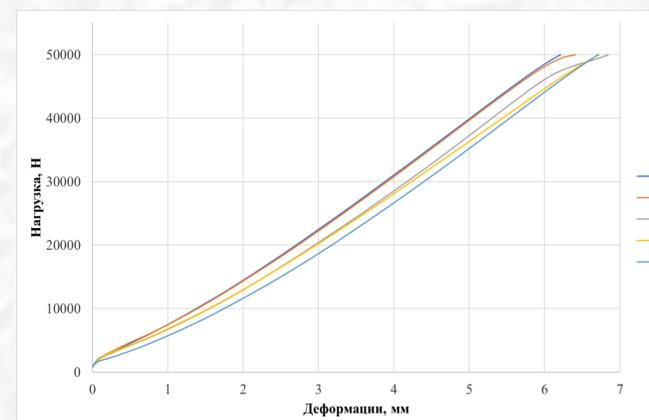


Рисунок 8 - Диаграмма «Нагрузка-деформации» при растяжении вдоль волокон для определения модуля упругости

Результаты и обсуждения

Доведенные до разрушения пластины представлены на рисунках ба и бб. Вдоль волокон более зацепистый разрыв, тогда как поперек волокон более ровный. На рисунках 7-9 отображены результаты испытаний и характер разрушения образцов. Результаты обработки полученных данных при различных конфигурациях нагружений в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытаний и статистической обработки прочности

Маркировка образца	Размеры поперечного сечения, мм		Максимальная нагрузка P_{\max} , кН	Время до разрушения, сек	Предел прочности, МПа	Среднее значение прочности, МПа	Коэффициент вариации ν , %	Относительная погрешность, %	Модуль упругости, МПа	Среднее значение модуля упругости, МПа
	b	h								
Растяжение поперек волокон										
1	19,35	10,34	4,31	147,30	21,5230	19,926	6,36	3,94		2,7018
2	18,91	10,24	3,85	149,80	19,8846					2,2587
3	20,18	10,22	3,75	124,00	18,2036					2,3644
4	19,18	10,24	4,06	159,48	20,6764					2,3544
5	20,52	10,33	4,10	171,40	19,3355					2,0388
Растяжение вдоль волокон										
1	25,10	10,29	178,92	176,98	692,7392	692,935	1,75	1,08		10,15
2	25,65	10,26	184,26	168,34	709,1737					9,47
3	25,20	10,13	171,98	140,28	673,6904					9,83
4	25,10	10,41	179,12	176,92	685,5307					9,47
5	25,41	10,04	180,73	176,90	708,4178					10,00
6	25,34	9,94	175,58	192,28	697,0632					-

Как показывают графики 6-9, при растяжении стеклопластиков характерна упругая работа материала в двух направлениях приложения нагрузки. Результаты имеют небольшой разброс, что позволяет сделать вывод о минимальных дефектах материала при изготовлении.

По формуле (1) для растяжения вдоль волокон рассчитаны модули упругости. Для разрушения вдоль волокон $E_{\text{ср}}$ равен 9,78 ГПа, поперек волокон – 2,34 ГПа.

Полученные результаты возможно применять в дальнейшем при расчёте конструкций, поскольку согласно первой редакции вновь вводимого свода правил по композитным конструкциям из пултрузионных полимерных профилей прочностные и деформационные характеристики должны быть не ниже приведенных в нем значений.

Выводы

1. Проведены испытания образцов стеклопластика на растяжение вдоль и поперек волокон при скорости 5 мм/мин и 1 мм/мин соответственно. Разработана методика, позволяющая проводить испытания образцов до разрушения при недостаточном захвате испытательной машины или проскальзывании материала.
2. Получены средние значения временной прочности при растяжении вдоль волокон равное 692,935 МПа и поперек волокон равное 19,926 МПа. Средние мгновенные модули упругости соответственно равны 9,78 и 2,34 ГПа.