

# Теория расчета строительных конструкций

УДК 678.5.029.46:666.189.2+624.074.4

## АНИЗОТРОПИЯ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА РОВИНГЕ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ И ЗАГЛУБЛЕННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

*Ж.Ф. Валиахметова, В.М. Асташкин*

## ANISOTROPY DIRECTIONALITY OF GLASS-FIBRE PLASTIC ON ROVING AND ITS INFLUENCE ON CONSTRUCTIVE DECISIONS OF GLASS-FIBRE PLASTIC TEWELS AND SUNKEN VESSELS

*G.F. Valiakhmetova, V.M. Astashkin*

Исследована степень анизотропии механических свойств материала стеклопластиковых конструкций, изготовленных намоткой с применением ровинга, и температурная зависимость его модуля упругости, даны рекомендации по нормированию свойств. Установлено, что снижение характеристик стеклопластика в направлении образующей по сравнению с тканевым армированием не приводит к увеличению толщины стенок заглубленных резервуаров. Повышение температуры существенно снижает модуль упругости стеклопластика, намотанного ровингом, особенно в направлении образующей, что следует учитывать при проектировании дымовых труб.

*Ключевые слова: стеклопластик, ровинг, анизотропия, резервуары, дымовые трубы.*

The anisotropy degree of mechanical properties of materials of glass-fibre plastic constructions, made by winding with using roving, and the temperature dependence of its elasticity module are analyzed; recommendations on quality normalization are given. It is determined that deterioration of characteristics of glass-fibre plastic in the line of generating in comparison with textile reinforcement does not increase the wall thickness of sunken vessels. The temperature increase appreciably reduces elasticity module of glass-fibre plastic wounded by roving, especially in the line of generation that should be taken into account while designing tewels.

*Keywords: glass-fibre plastic, roving, anisotropy, tanks, chimnies.*

В качестве армирующего наполнителя для стеклопластика используют ткани из стекловолокна с различным переплетением волокон, первичные крученые и некрученые нити, рубленные волокна или ровинг, представляющий собой некрученую пряжу из нитей непрерывного стекловолокна. Наполнители оказывают существенное влияние на свойства стеклопластиков, особенно на прочность, ударную вязкость, теплостойкость и пр. [1,2].

В производстве крупногабаритных изделий из стеклопластиков методом мокрой намотки в основном рекомендуется применение ткани полотняного и сатинового переплетения из-за простоты технологической оснастки и высоких прочностных характеристик материала в изделии как в кольцевом направлении, так и по образующей [3]. Однако при одинаковой массе стоимость ткани на 30 % выше, чем ровинга, при намотке в стационарных

условиях можно одновременно наматывать большое количество его пряжей, поэтому применение ровинга экономически оправдано. Но применение ровинга обуславливает преимущественное армирование в кольцевом направлении и более существенную анизотропию, величина и проявление которой требуют оценки и учета при проектировании изделий.

Нами проведена работа по оценке возможности применения намоточного полиэфирного стеклопластика на ровинге для конструкций заглубленных резервуаров большого диаметра и стволов дымовых труб при температурах до 200 °С, для чего были изучены механические характеристики материалов в разных направлениях, зависимость модуля упругости от температуры, и характер проявления этих свойств в исследуемых конструкциях.

Были выполнены испытания образцов стеклопластика, вырезанных из оболочек, намотанных ровингом с двумя прослойками ткани TP-04, основной ориентированной по образующей, с использованием полиэфирной смолы Polylight в качестве связующего. Испытания проводились на изгиб, растяжение и сжатие в кольцевом направлении и по образующей.

Кроме того, были проведены исследования температурной зависимости образцов стеклопластика, намотанного ровингом, с использованием теплостойкой эпоксивинилэфирной смолы DERAKANE 470 HT-400 в качестве связующего. У производителя данной смолы имеется информация о свойствах эпоксидных винилэфирных смол и стеклопластика на их основе, в том числе о температуре тепловой деформации смолы [4]. Однако нет данных об изменении свойств стеклопластика в зависимости от температуры и направления армирования.

Испытание и обработка результатов проводились согласно [1, 5, 6, 7]. Коэффициент армирова-

ния образцов, определенный выжиганием связующего, составил 70 %. При испытании на изгиб разрушение образцов происходило с расслоением по вмотанной стеклоткани. Межслойный сдвиг проявляется также при разрушении в результате растяжения и сжатия (рис. 1).

На рис. 2 приведена характерная диаграмма работы образца на изгиб и выделенный линейный участок.

Сводные данные о рекомендуемых нормативных и расчетных характеристиках намоточного полиэфирного стеклопластика на смоле Polylight и ровинге, а также их сопоставление с характеристиками стеклопластика на тканевой основе (по данным [3]) приведены в табл. 1, 2.

Для оценки зависимости упругих свойств от температуры образцы стеклопластика нагревались в термокамере, позволяющей поддерживать постоянную температуру, где измерялся их прогиб при нагружении и разгрузке. Испытания проводились при температурах 25, 120, 150, 160, 180, 200 °С и при промежуточных охлаждениях до 25 °С. После

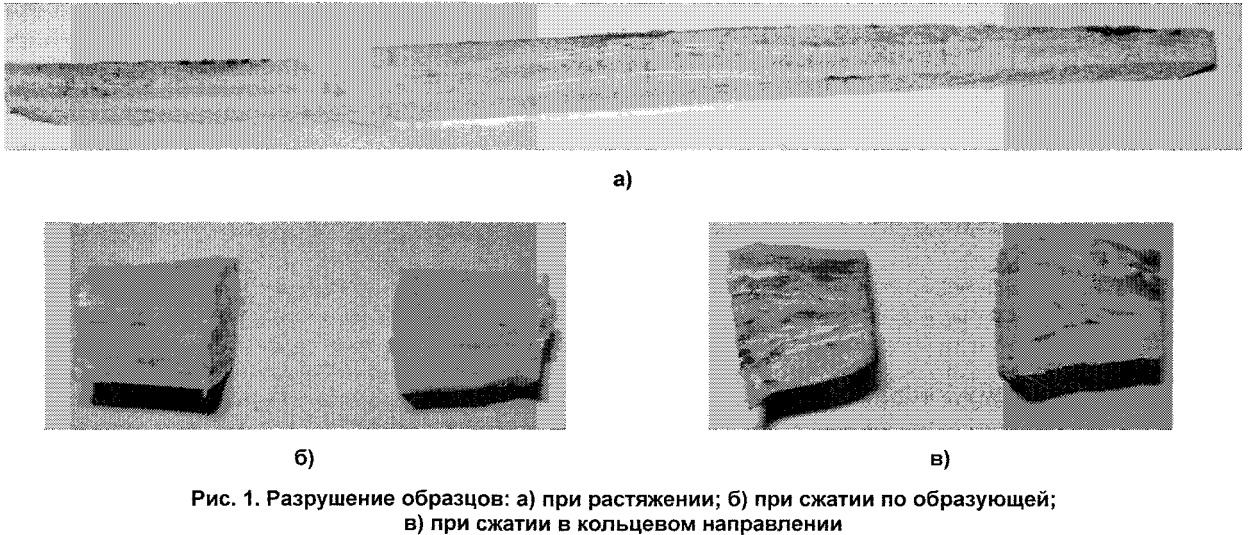


Рис. 1. Разрушение образцов: а) при растяжении; б) при сжатии по образующей; в) при сжатии в кольцевом направлении

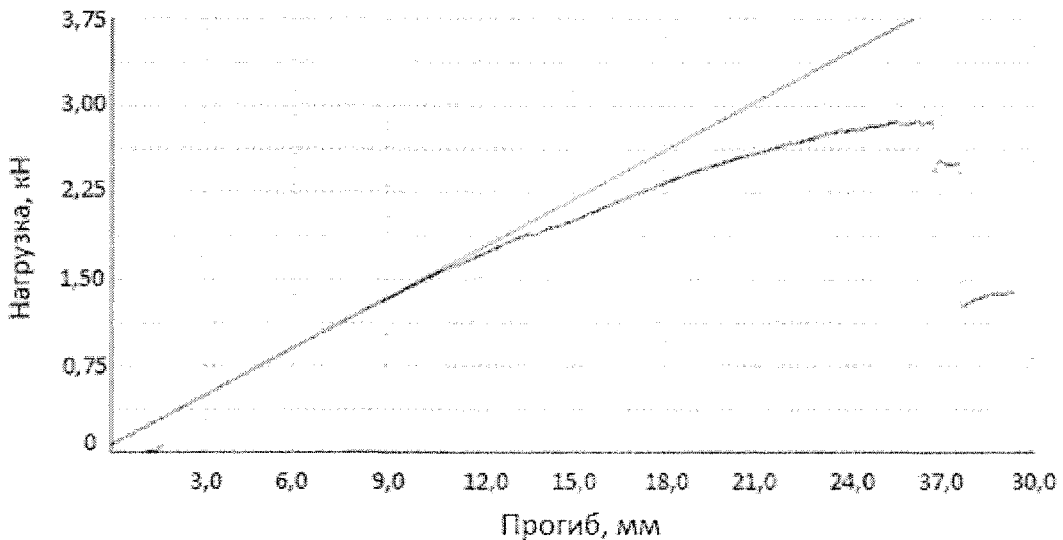


Рис. 2. Диаграмма работы образца на изгиб

Напряженное состояние	Нормативные / расчетные сопротивления для стеклопластика на полиэфирной смоле, МПа		Соотношение характеристик <i>ровинг / ткань</i>
	на ровинге (по результатам испытания)	на тканевой основе (справочно)	
Сжатие в кольцевом направлении	153 / 38	100 / 25	1,5
Сжатие по образующей	45 / 11	80 / 20	0,56
Растяжение в кольцевом направлении	230* / 57*	180 / 45	1,3
Растяжение по образующей	76 / 19	100 / 25	0,76
Изгиб в кольцевом направлении	190 / 47	165 / 41	1,15
Изгиб по образующей	63 / 16	110 / 28	0,57

Прогнозируемая величина (пропорционально прочности при изгибе).

Таблица 2

Напряженное состояние	Нормативные / расчетные модули упругости для стеклопластика на полиэфирной смоле, МПа		Соотношение характеристик <i>ровинг / ткань</i>
	на ровинге (по результатам испытания)	на тканевой основе (справочно)	
Изгиб в кольцевом направлении	23902 / 8764	21000 / 7700	1,14
Изгиб по образующей	12170 / 4462	12000 / 4400	1,01

чего рассчитывался модуль упругости при разных температурах  $E(t)$ , а также модуль упругости до нагрева  $E_{нач}$  и после нагрева  $E_{посл}$  при температуре 25 °С.

Средние значения модуля упругости при температуре 25 °С:

- изгиб в кольцевом направлении

$$E = 29\,726 \text{ МПа};$$

- изгиб по образующей

$$E_{90} = 13\,595 \text{ МПа}.$$

На рис. 3 представлен график, показывающий повышение модуля упругости образцов после цикла нагрев-охлаждение. Такое изменение показывает, что полимеризация образцов была не полной и продолжилась при нагревании.

Результаты изменения модуля упругости с ростом температуры представлены на рис. 4. Из анализа графиков рис. 4 следует, что при тем-

пературе выше 180 °С даже у стеклопластика на термостойкой смоле DERAKANE 470 HT-400 происходят структурные изменения в материале.

Проявление анизотропии стеклопластика оценивалось на примере заглубленных резервуаров (вертикальных и горизонтальных диаметром до 3,6 м при заглублении до 10 м) и стволов дымовых труб, в последнем случае и с учетом изменения свойств при нагреве.

Расчет вертикальных резервуаров производился на потерю устойчивости в кольцевом направлении как для короткой оболочки, подкрепленной по торцам согласно [8].

Горизонтальные емкости рассчитаны по методике расчета подземных трубопроводов из ПКМ [9, с. 125-127]. Подкрепляющее действие торцов на устойчивость стенки в кольцевом направлении учитывалось исходя из отношения длины оболочки к длине окружности подобно сводчатому по-

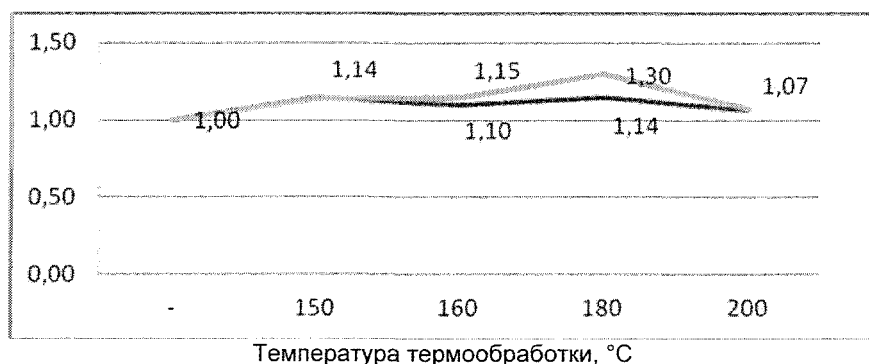


Рис. 3. Повышение модуля упругости после термообработки (в долях к первоначальному значению)

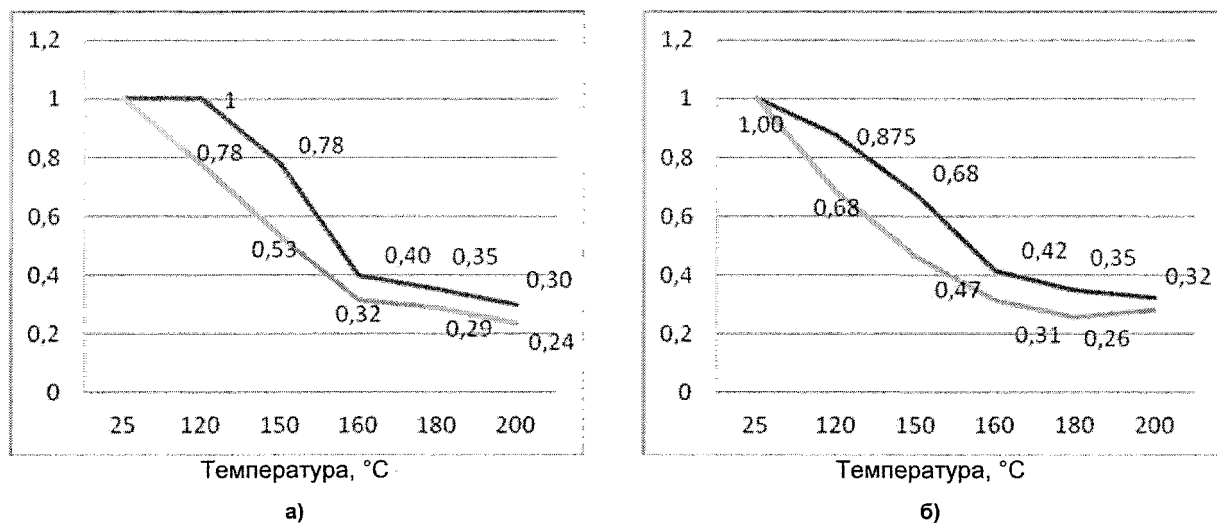


Рис. 4. Относительная зависимость: а –  $E(t)/E_{нач}$  от температуры; б –  $E(t)/E_{посл}$  от температуры; — в кольцевом направлении; - - - по образующей

крытиям [10, с. 226]. Предельное значение относительной деформации вертикального диаметра трубы принято 3 %.

В результате расчета определена требуемая толщина стенки резервуара. Наличие ребер жесткости позволяет ее уменьшить за счет возрастания критических напряжений.

По результатам расчета установлено, что относительное снижение характеристик стеклопластика в направлении образующей не приводит к увеличению толщины стенок оболочек, поскольку для вертикальных резервуаров определяющим условием является устойчивость стенки в кольцевом направлении, для горизонтальных – величина овализации при запасе по устойчивости.

При исследовании образцов стеклопластика в интервале температур 25–200 °C все образцы показали схожее относительное изменение кратковременного модуля упругости. При повышении температуры модуль упругости стеклопластика, намотанного ровингом, особенно сильно снижается в направлении образующей, поэтому у краев воспринимающих осевые усилия оболочек, где косое армирование ровингом не осуществимо, обязательно выполнение дополнительного осевого армирования тканью.

По результатам испытаний и расчетов сделаны следующие выводы:

1. Для исследованных образцов характерна значительная анизотропия: прочность в кольцевом направлении в 3 раза превышает прочность в направлении образующей, модуль упругости в кольцевом направлении в 2 раза превышает модуль упругости в направлении образующей.

2. Прочность стеклопластика на ровинге в кольцевом направлении в 1,3 раза выше прочности стеклопластика на тканевой основе.

3. Прочность стеклопластика на ровинге по образующей составляет около 0,6 от прочности стеклопластика на тканевой основе.

4. Модули упругости стеклопластика на ро-

винге и ткани в обоих направлениях практически совпадают.

5. Снижение характеристик стеклопластика в направлении образующей не приводит к увеличению толщины стенок заглубленных резервуаров.

6. Повышение температуры существенно снижает модуль упругости стеклопластика, намотанного ровингом, особенно в направлении образующей, что следует учитывать при проектировании дымовых труб.

#### Литература

1. Руководство по проектированию, расчету и методам контроля газоходов и ванн из бипластмасс / В.М. Асташкин, С.Г. Иванов и др. — М.: Главтепломонтаж, 1979. — 124 с.
2. Конструкционные стеклопластики / В.И. Альперин и др. — М.: Химия, 1979. — 358 с.
3. Асташкин, В.М. Руководство по проектированию коррозионностойкого нестандартного оборудования и сооружений промышленных предприятий из конструкционных пластмасс / В.М. Асташкин, В.А. Пазуцан, В.В. Продайко. — Челябинск: ЧГТУ, 1990. — 163 с.
4. По материалам сайта [www.composite.ru](http://www.composite.ru)
5. ГОСТ 14359-69\*. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
6. ГОСТ 4648-71. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб.
7. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
8. ПБ 03-381-00. Правила устройства вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. — М.: Госгортехнадзор, 2002.
9. Проектирование, строительство и эксплуатация трубопроводов из полимерных материалов / под ред. А.Н. Шестопала, В.С. Ромейко. — М.: Стройиздат, 1985. — 304 с.
10. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. пособие / Г.Н. Зубарев и др. — М.: Академия, 2006. — 304 с.

Поступила в редакцию 26 августа 2010 г.