



Крупногабаритные изделия из стеклопластиков на основе многослойных стеклотканей

М.И. Душин

Я.Д. Аврасин

Август 1972

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале
«Авиационная промышленность», № 4, 1973 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Крупногабаритные изделия из стеклопластиков на основе многослойных стеклотканей

М.И. Душин, Я.Д. Аврасин

Всероссийский институт авиационных материалов

Стеклопластики, армированные обычными (однослойными) стеклотканями или жгутом (нитью), обладают относительно низкими характеристиками межслойного сдвига и отрыва, которые определяются, в основном, адгезией связующего к стекловолокну и когезией отвержденной смолы. С целью улучшения сдвиговых характеристик, при условии сохранения других высоких механических свойств стеклопластиков и придания им специальных свойств, во ВНИИСПВ создан новый тип армирующего стекловолоконистого наполнителя в виде многослойных стеклотканей объемного переплетения. Схема одного из вариантов плетения такой ткани приведена на рис. 1.

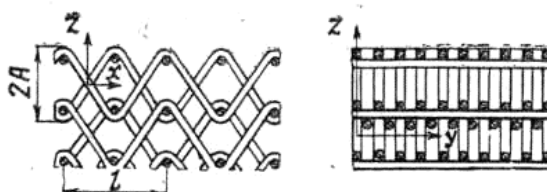


Рисунок 1. Схема плетения многослойной стеклоткани:
 x – направление основы ткани; y – направление утка ткани

В этих тканях волокна основы переплетаются по определенному закону* с практически прямолинейными волокнами утка двух соседних слоев, создавая таким образом объемно-упрочненную структуру. В табл. 1 представлены некоторые характеристики стеклопластиков на основе эпоксидного связующего ЭДТ-10 и многослойных стеклотканей, полученных методом пропитки под давлением. Ткани различаются между собой как по толщине, так и по схеме плетения. С ростом толщины наблюдается падение свойств, более заметное в направлении основы ткани, чем в направлении утка. Это связано с увеличением

* Розе А.В. и др. Механические и технологические свойства стеклопластиков с пространственно-сшитой арматурой. ОНТИ ВИАМ, 1970. 60 с.

степени искривления нитей основы относительно направления приложения нагрузки. Однако при сравнительно небольшой толщине (1,5–2,0 мм) свойства стеклопластиков близки, а по некоторым показателям даже выше свойств стеклотекстолита на основе обычной ткани ТС-8/3-250.

Таблица 1.

Свойства стеклопластиков на различных типах тканей многослойной структуры

Свойства		Стеклоткань					Однослойная ткань ТС-8/3-250 ($\delta=0,23$ мм)
		МТБС-1,6 ($\delta=1,6$ мм)	МТТС-1,8 ($\delta=1,7$ мм)	МТТС-2,1 ($\delta=1,8$ мм)	МТБС-2,5 ($\delta=2,5$ мм)	МТБС-12,8 ($\delta=12,8$ мм)	
σ_B , кгс/мм ²	по основе	49	38	44	37	13	56
	по утку	30	29	41	35	29	29
σ_{-B} , кгс/мм ²	по основе	35	25	30	26	11	35
	по утку	34	26	40	33	26	22
$\sigma_{B,II}$, кгс/мм ²	по основе	54	43	59	49	18	57
	по утку	48	36	53	50	33	35
$E \cdot 10^{-2}$, кгс/мм ²	по основе	3,47	2,70	2,75	2,50	1,05	2,70
	по утку	2,32	2,25	2,63	1,94	1,80	1,76
Соотношение нитей основы и утка		2,28	2,00	1,33	1,71	1,02	1,80
Содержание связующего a_B , %		26,2	27,4	30,0	28,5	29,0	30,0

Введение поперечных связей в структуру ткани при ее выработке позволило увеличить прочность стеклопластика при сдвиге в 1,6 раза в направлении утка и в 2,4 раза в направлении основы по сравнению со стеклотекстолитом на основе обычной (однослойной) стеклоткани (табл. 2). Образец для определения прочности при сдвиге показан на рис. 2.

Таблица 2.

Влияние типа стеклоткани на предел прочности при сдвиге стеклотекстолита

Свойства	МТБС ($\delta=12,8$ мм)		ТС-8/3-250 ($\delta=0,23$ мм)	
	по основе	по утку	по основе	по утку
τ_B , кгс/мм ²	10,3 $\left(\frac{9,15}{10,8}\right)$	6,3 $\left(\frac{5,4}{7,2}\right)$	4,3 $\left(\frac{3,65}{4,65}\right)$	3,9 $\left(\frac{3,25}{4,30}\right)$
Коэффициент вариации, %	7,2	8,2	8,0	8,1
$\tau_{\text{мног}}/\tau_{\text{одн}}$	2,4	1,6	1,0	1,0
Содержание связующего a_B , %	32	32	29	29

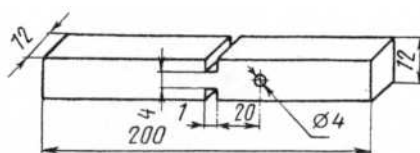


Рисунок 2. Образец для испытания на сдвиг

Изготовление крупногабаритных изделий из многослойных стеклотканей вместо однослойных армирующих наполнителей отличается рядом специфических особенностей. Повышенная толщина стеклоткани позволяет получать изделия, в которых имеется несколько или даже один слой армирующего наполнителя. В этом случае необходимо установить влияние угла вырезки образца относительно направления основы ткани на свойства стеклотекстолита. Проведенные исследования показывают, что при угле вырезки образца относительно основы ткани более 15 град наблюдается значительное снижение прочности и модуля упругости стеклотекстолита. Приведенные на рис. 3 расчетные данные, построенные по известным формулам*, свидетельствуют об их удовлетворительной точности применительно к исследованным материалам.

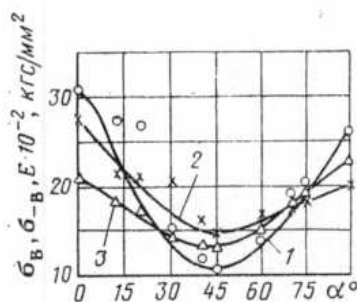


Рисунок 3. Зависимость прочности и модуля упругости стеклопластика от угла вырезки образцов по отношению к основе ткани: 1 – предел прочности при растяжении; 2 – предел прочности при сжатии; 3 – модуль упругости при растяжении

При изготовлении крупногабаритных изделий сложной формы трудно обеспечить в оснастке постоянство рабочего зазора, что, в свою очередь, влияет на содержание связующего в материале.

С целью определения влияния содержания связующего на свойства

*Тарнопольский Ю.М., Скудра А.М. Конструкционная прочность и деформативность стеклопластиков. Рига, «Зинатне», 1966, 260 с.

стеклопластиков были изготовлены плоские образцы на тканях МТБС-2,5 (ТУ 197–67), МТТС-2,1 (ТУ 277–69) и связующем ЭДТ-10 методом пропитки под давлением. Результаты определения основных свойств стеклотекстолита представлены на рис. 4. Как видно, изменение ряда свойств стеклотекстолита в зависимости от содержания связующего в изученных пределах происходит практически линейно. С увеличением объемной доли армирующего наполнителя при уменьшении содержания связующего (до допустимого предела) прочность материала повышается.

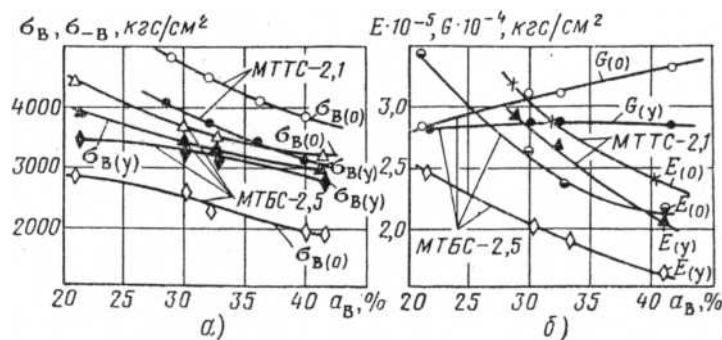


Рисунок 4. Зависимость свойств стеклопластика от содержания связующего: а – прочность при растяжении и сжатии; б – модуль упругости и модуль сдвига

Большая толщина многослойных стеклотканей и особенность их структуры потребовали разработки технологических приемов для получения тонкостенных крупногабаритных изделий конструкционного назначения, к которым предъявляются также требования по герметичности.

Необходимо было найти способ соединения заготовок многослойной стеклоткани, обеспечивающий прочность материала в изделии, близкую к прочности целого (несстыкованного) материала. Как известно, это легко решается при изготовлении изделий из обычных тонких однослойных стеклотканей соединением заготовок встык или внахлестку и равномерным разнесением их по периметру изделия. Большая толщина многослойной ткани не позволяет использовать указанные способы, так как это приведет к ослаблению прочности в зоне стыка или к местному увеличению толщины детали и, следовательно, к пережиму и обеднению связующим в зоне нахлестки. Разработана схема соединения заготовок внахлестку (рис. 5), в которой на одной

или обеих заготовках на ширину нахлеста удаляются нити основы (утка) и место стыка прошивается на швейной машине с использованием накладки из тонкой ткани ТС-8/3-250. Машинная сшивка позволила собрать заранее несколько заготовок, составляющих один слой изделия.

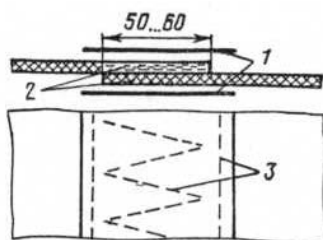


Рисунок 5. Схема соединения заготовок стеклотканей:

1 – накладки; *2* – заготовки; *3* – линии сшивки

При применении раскроя ткани под углом к направлению основы (утка) ткани для изготовления конусных или сферических деталей нити на кромках заготовок удаляют по схеме, показанной на рис. 6. На кромках заготовок предварительно делаются надрезы длиной 60–70 мм с шагом, зависящим от угла между кромкой заготовки и направлением основы (утка) ткани. Затем производится удаление нитей основы (утка) на кромках заготовок. Для определения влияния ширины нахлеста и угла вырезки образца на прочность материала при растяжении (зона стыка находилась в рабочей части образца) были проведены испытания материала на стандартных образцах-лопатках. Результаты этих испытаний представлены на рис. 7, из которого видно, что при ширине нахлеста 50–60 мм прочность стыка приближается к прочности целого (несостыкованного) материала.

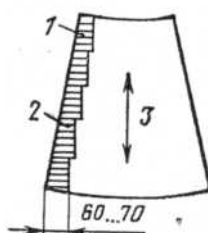


Рисунок 6. Схема удаления нитей при раскрое заготовок стеклоткани под углом: *1* – зона удаления нитей; *2* – линии надреза тканей; *3* – основа

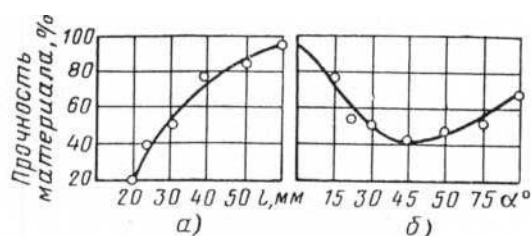


Рисунок 7. Зависимость прочности стыка стеклопластика от ширины нахлеста (а) и угла вырезки образцов (б)

Специфичность структуры многослойных стеклотканей – наличие больших пустот-макропор между отдельными нитями (основы и утка) низкого метрического номера – и их относительно большая толщина затрудняют машинную пропитку и тем более намазку кистью или роликом без воздушных включений в макропорах ткани и в микропорах (между отдельными элементарными волокнами в нитях). Исследования показали, что стеклопластик, изготовленный из стеклоткани МТТС-2,1, предварительно пропитанной на машине связующим ЭДТ-10П (содержание связующего в ткани 30–32%, в пластике 29–31%), имеет пористость 12–14%. Это приводит не только к нарушению герметичности материала, но и к снижению его прочностных свойств. Кроме того, применение предварительно пропитанной стеклоткани для формования изделий затрудняет стыковку заготовок и обеспечение высоких требований по прочности и герметичности.

Для изготовления крупногабаритных изделий, к которым предъявляются повышенные требования по прочности и герметичности, был выбран метод пропитки под вакуумом и давлением, который обеспечивает большую монолитность материала (с пористостью 3–6%). Этот процесс внедрен в серийное производство. При изготовлении изделий использовали стеклоткань МТТС-2,1 и эпоксидное связующее ЭДТ-10. Стабильность процесса оценивали по результатам испытания образцов, вырезанных из натуральных изделий (табл. 3).

Таблица 3.

Свойства материала, вырезанного из натуральных изделий

Свойства \ Изделие	Х6050		Ю16СЛ		Х010		Требования ТУ
	III*	IV*	III	IV	III	IV	
σ_B , кгс/мм ²	32,1	–	31,3	–	31,4	–	25
σ_{-B} , кгс/мм ²	24,0	23,7	22,5	22,6	23,3	23,5	22
$E_{\text{раст}} \cdot 10^{-3}$, кгс/мм ²	2700	–	2540	–	2380	–	–
$E_{\text{сж}} \cdot 10^{-3}$, кгс/мм ²	2560	2570	2860	2570	2330	2540	2700
γ , гс/см ³	1,89	1,88	1,92	1,92	1,88	1,88	1,8–1,9
Содержание смолы a_B , %	30,9	31,2	29,7	29,7	31,9	31,0	28±2

* Номер зоны по высоте изделия.

Из рассмотрения этих данных видно, что в направлении основы свойства материала стенки изделия ниже свойств материала, полученного на плоских панелях (см. табл. 1). Это объясняется влиянием угла отклонения нитей основы ткани от направления вырезки образца. В испытанных изделиях угол составлял 15–20 град, что привело не только к снижению прочности, но и к повышению коэффициента вариации (при сжатии 10–12%, при растяжении 12–17%).

Внедрение многослойных стеклотканей в технологию изготовления крупногабаритных изделий позволило сократить трудоемкость на 30–40% и производственный цикл в 2,5–3 раза, а также повысить качество и надежность эксплуатации изделий.