

## ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА

© А.А. Дорофеева<sup>1</sup>, Н.Л. Дорофеева<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматриваются основные свойства стеклопластика. Изложена информация о методах, оборудовании и процессах, с помощью которых формируются машиностроительные стеклопластиковые изделия.

*Ключевые слова: стеклопластик, контактное формование, метод пултрузии, препрег, метод RFI.*

## MANUFACTURING TECHNOLOGIES OF FIBERGLASS

© A. Dorofeeva, N. Dorofeeva

Irkutsk National Research Technical University,  
664074, Irkutsk, Lermontov str., 83. Russian Federation

The basic properties of fiberglass are considered. The information about the methods, equipment and processes by which engineering fiberglass products are formed is presented.

*Keywords: fiberglass, contact molding, pultrusion method, prepreg, RFI method*

К самым распространённым современным композитным материалам относится стеклопластик, материал, в котором синтетическое полимерное связующее и стеклянный наполнитель (нити, жгуты, ткани, маты) составляют одно целое. Стеклопластик используют в судо-, машино- и самолетостроении, изготавливая корпуса судов, кузова автомобильного транспорта, включая цистерны и рефрижераторы, вертолётные лопасти, выхлопные трубы и другие детали, требующие антикоррозийных или не препятствующих прохождению радиоволн материалов.

Механические характеристики стеклопластиков обуславливаются свойствами и, главное, длиной и ориентацией волокон. Стекловолокно является арматурой, оно придаёт изделию высокую механическую прочность, имея при этом малую плотность. Наибольшую прочность и жёсткость обеспечивают непрерывные волокна. Как правило, ориентация волокон бывает одного направления (взаимно параллельные волокна) и перекрёстной (под заданным углом друг к другу) [1].

Рассмотрим основные свойства стеклопластика. Удельный вес изделий из стеклопластика примерно в 5–6 раз меньше, чем изделий изготовленных из металлов, как черных, так и цветных, и в 2 раза меньше, чем у дюралюминия. Небольшой удельный вес изделий из стеклопластика сочетается с высокими физико-механическими свойствами материала, которые можно регулировать очень широко, варьируя длину, направление и плотность армирования. На рис. 1 представлены диаграммы сравнения физико-механических характеристик различных материалов: стеклопластика, ПВХ, алюминия и стали.

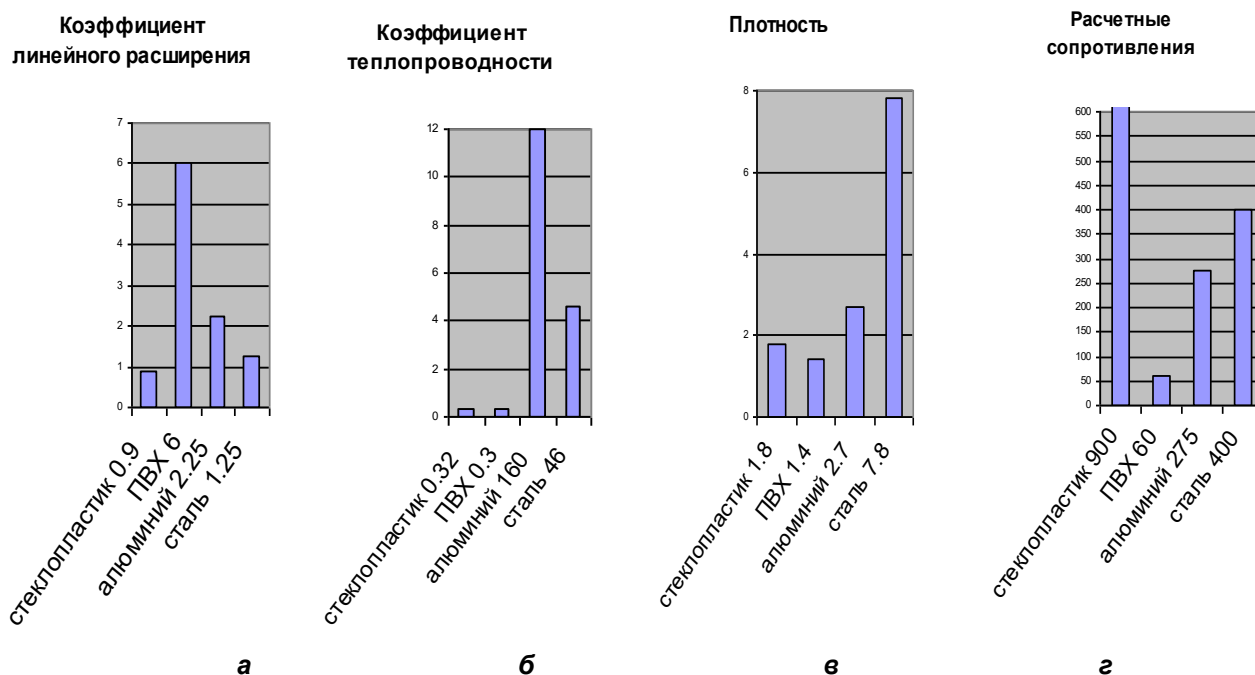
Кроме того, стеклопластик прекрасный электроизоляционный материал, он является диэлектриком и не подвергается электрохимической коррозии. При использовании соответствующих связующих получают материал, стойкий к действию различных агрессивных сред, как кислот, так и щелочей. Степень изотропности материала напрямую зависит от степени хаотичности расположения волокон (рубленые волокна, маты). Прозрачные связующие позволяют получить стеклопластики, оптические свойства которых практически не уступают стеклу, а использование красителей при изготовлении даёт стойкий цвет [2, 3].

А самое главное, для изготовления стеклопластиковых изделий требуются минимальные вложения в оборудование и очень выгодно их мелкосерийное производство. Рассмотрим основные методы изготовления машиностроительных стеклопластиковых изделий [4].

При *ручном*, или *контактном* формовании стеклянный наполнитель пропитывают смолой при помощи кисти (валиков) вручную. Подготовленный стекломат укладывают в форму и прикатывают валиками для удаления воздушных пузырьков и равномерного распределения связующего по всему объёму изделия. Отверждение изделия производится при комнатной температуре. Извлеченное из формы изделие и подвергается механической обработке: обрезается облой, высверливаются отверстия. Недостатки метода: зависимость качества выпускаемых изделий от квалификации специалистов и большая вероятность наличия воздушных пузырьков, являющихся дополнительными концентраторами напряжений; малая производительность труда; вредность производства.

<sup>1</sup> Дорофеева Анна Андреевна, студентка группы ТВБ-15-1, e-mail: emy@mail.ru  
Anna A. Dorofeeva, student of TVB-15-1 group, e-mail: emy@mail.ru

<sup>2</sup> Дорофеева Наталья Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов», e-mail: emy@mail.ru  
Natalia L. Dorofeeva, Ph. D., Associate Professor of the Department "Theoretical mechanics and resistance of materials", e-mail: emy@mail.ru



**Рис. 1. Диаграммы сравнения физико-механических характеристик различных материалов:**

**а** – коэффициенты линейного расширения,  $\alpha \cdot 10^{-5}, 1/\text{градус}$   
**б** – коэффициенты теплопроводности,  $R, \text{Mn}$   
**в** – плотность,  $\rho, (\text{т}/\text{м}^3)$   
**г** – расчетные сопротивления,  $Q, \text{Bm}/\text{м}^2 \cdot \text{градус}$

При формировании изделий методом *пултрузии* волокна наполнителя проходят сначала через ванну со смолой, а затем через нагретую фильеру, где убирается излишек смолы, происходит профилирование изделия, отверждение и автоматическое разрезание профиля на элементы нужной длины. Поскольку наполнитель направляется при помощи катушечной рамы, профили состоят из направленных волокон, что совместно с автоматизированным управлением содержания смолы повышает механические характеристики материала.

Использование предварительно (под давлением и при высокой температуре) пропитанной смолой стеклоткани или волокна, называемой *препрег* позволяет автоматизировать процесс формирования изделий, снизить затраты труда, улучшить условия труда и снизить количество вредных выбросов. Препреги могут долго храниться (желательно при пониженных температурах), так как смола находится в полутвердом состоянии. При изготовлении деталей препреги укладывают на форму в вакуумный мешок, устанавливают в автоклав и нагревают. При температуре 120-180° С под давлением до 5 атмосфер заготовка принимает размер и очертания формы, а дальнейшее повышение температуры приводит к отверждению изделия. Данный метод производства позволяет изготавливать более качественные изделия, но требует больших затрат, а необходимость использования автоклав ограничивает размеры выпускаемых изделий.

В аэрокосмической промышленности используется *метод RFI (Resin Film Infusion)*. Этот метод имеет более низкую стоимость процесса формирования изделий по сравнению с методом препрегов, но, в отличие от всех перечисленных методов формирования позволяет использовать только эпоксидную смолу. Сухие ткани прокладывают слоями полутвердой пленки из смолы. Полученный брикет закрывается специальной пленкой, затем между пленкой и формой создается вакуум, после чего форму помещают в термический шкаф или в автоклав. При повышении температуры смола переходит в текучее состояние и материал благодаря вакууму пропитывается смолой, дальнейшее повышение температуры полимеризует смолу. Высокая температура отверждения и твердое начальное состояние заготовок позволяет получить изделия с высокими физико-механическими характеристиками.

В заключение отметим, что сравнение равнопрочных конструкций из стали и стеклопластика показывает, что изделия из стеклопластика в разы легче. Стеклопластик является одним из самых доступных и недорогих композиционных материалов. Крупносерийное производство изделий более выгодно при использовании вакуумного формования.

**Библиографический список**

1. Микульский В.Г. Строительные материалы: учеб. изд-е. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 536 с.
2. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмов Н.В. Строительные материалы: учебник М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2014. 272 с.
3. Дорофеева А.А., Дорофеева Н.Л. Технологии производства и виды изделий из стекла / Авиамашиностроение и транспорт Сибири: сб. ст. VII Всероссийской науч.-практ. конф. 2016. С. 271–274.
4. Стеклопластик, его свойства и области применения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/stekloplastik-svoystva.html> (11.08.2018)