

СТЕКЛО-  
ПЛАСТИКИ

## СТЕКЛОПЛАСТИКИ

Редактор *В. И. Осокина*  
Художественный редактор *В. И. Шаловалов*  
Художник и технический редактор *Н. В. Зотова*  
Корректор *Н. В. Серёгин*

Сдано в производство 6/X 1960 г.  
Подписано к печати 13/I 1961 г.  
Бумага 84×108/32=7,6 бум. л.  
25 печ. л., в т/ч 3 вкл.  
Уч.-изд. л. 23,2 Изд. № 20/4800  
Цена 1 р. 77 к. Зак. 624

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
Москва, 1-й Рижский пер., 2

5-я типография Мосгорсовнархоза  
Москва, Трехпрудный пер., 9

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Предисловие редактора русского издания . . . . .                                                                | 5   |
| Предисловие ко второму изданию . . . . .                                                                        | 15  |
| Предисловие к первому изданию . . . . .                                                                         | 16  |
| <i>Глава 1.</i> Типы и свойства стеклянных волокон . . . . .                                                    | 19  |
| <i>Глава 2.</i> Химия ненасыщенных полиэфирных и аллиловых смол . . . . .                                       | 49  |
| <i>Глава 3.</i> Полиэфирные смолы и их свойства . . . . .                                                       | 74  |
| <i>Глава 4.</i> Полиэфирные добавки . . . . .                                                                   | 105 |
| <i>Глава 5.</i> Стеклянные волокна, пропитанные фенольными смолами . . . . .                                    | 128 |
| <i>Глава 6.</i> Кремнийорганические, меламиновые и фурановые смолы . . . . .                                    | 142 |
| <i>Глава 7.</i> Эпоксидные смолы . . . . .                                                                      | 163 |
| <i>Глава 8.</i> Промышленные методы формования . . . . .                                                        | 179 |
| <i>Глава 9.</i> Методы серийного производства . . . . .                                                         | 204 |
| <i>Глава 10.</i> Непрерывный метод введения смолы в форму при формировании изделий из стеклопластиков . . . . . | 224 |
| <i>Глава 11.</i> Изготовление труб и стержней . . . . .                                                         | 236 |
| <i>Глава 12.</i> Проектирование и свойства конструкций из стеклопластиков . . . . .                             | 276 |
| <i>Глава 13.</i> Применение стеклопластиков в авиации . . . . .                                                 | 289 |
| <i>Глава 14.</i> Применение стеклопластиков в электротехнике . . . . .                                          | 327 |
| <i>Глава 15.</i> Применение стеклопластиков для изготовления кузовов автомобилей . . . . .                      | 361 |
| <i>Глава 16.</i> Корпуса лодок из стеклопластиков на основе полиэфирной смолы . . . . .                         | 390 |
| <i>Глава 17.</i> Применение стеклопластиков в химической технологии . . . . .                                   | 409 |
| <i>Глава 18.</i> Различные области применения стеклопластиков . . . . .                                         | 433 |
| Приложение. Основы конструирования моделей . . . . .                                                            | 471 |
| Предметный указатель . . . . .                                                                                  | 475 |



# GLASS REINFORCED PLASTICS

EDITED BY  
PHILLIP MORGAN

LONDON, ILIFFE & SONS LTD.  
NEW YORK, PHILOSOPHICAL LIBRARY

1957

# СТЕКЛОПЛАСТИКИ

СОСТАВЛЕНО ГРУППОЙ АВТОРОВ  
ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
Ф. МОРГАНА

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО  
ПОД РЕДАКЦИЕЙ КАНД. ТЕХН. НАУК  
Я. Д. АВРАСИНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1961

**Редакция литературы по вопросам техники**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

### РЕДАКТОРА РУССКОГО ИЗДАНИЯ

Пластические массы благодаря своим высоким техническим характеристикам обладают большими возможностями для широкого применения в различных отраслях техники. Удельная прочность пластмасс часто выше удельной прочности металла, однако недостаточная жесткость, повышенная хрупкость и часто недостаточная механическая прочность и термостойкость таких известных конструкционных слоистых пластиков, как текстолит, гетинакс и некоторые другие подобные материалы, являлись одной из причин их слабого использования в механически и термически сильно нагруженных конструкциях. Современная техника настоятельно требовала создания таких конструкционных пластиков, которые были бы лишены указанных недостатков и, кроме того, обладали бы лучшими технологическими свойствами, особенно для изготовления крупногабаритных изделий.

Успехи в области химии полимеров и технологии получения исключительно высокопрочных (до  $200 \text{ кг/мм}^2$ ), коррозионностойких, негорючих, водо- и грибостойких стеклянных волокон с малым удельным весом (2,5) и различных стекловолоконистых изделий на их основе (стеклоткани, стеклоленты, различного типа стекломаты, однонаправленные пряжи стекловолокна—стекложгуты и т. п.) привели к созданию так называемых стеклопластиков. Эти материалы, как известно, отличаются высокой удельной прочностью, низкой теплопроводностью, часто высокой термостойкостью и высокими технологическими и электроизоляционными характеристиками. Это обеспечило их широкое применение в различных отраслях промышленности: в авиационной и ракетной технике, автомобиле- и судостроении, а также в строительстве, электротехнике, химическом машиностроении и, наконец, в производстве изделий широкого потребления. Удельная прочность различных стеклотекстолитов отечественных марок в сравнении с

**ТАБЛИЦА 1**  
*Сравнительные данные по удельной прочности и жесткости  
 некоторых конструкционных слоистых пластиков, древесины  
 и металлов (при комнатной температуре)*

| Материал                                                                                    | Марка                                                      | Удельный вес $\gamma$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | Модуль упру-<br>гости $E$ , кг/мм <sup>2</sup>    | Удельная<br>прочность при                      |                                             | Удельная<br>жесткость $\frac{E}{\gamma}$ , см |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                             |                                                            |                                              |                                                   | растяже-<br>нии $\frac{\sigma_b}{\gamma}$ , см | сжатии<br>$\frac{\sigma_{-b}}{\gamma}$ , см |                                               |
| Хромоникелевая<br>высокопрочная<br>сталь—хроман-<br>силь . . . . .                          | 30ХГСА<br>(закалка<br>при 880 °С,<br>отпуск<br>при 500 °С) | 7,85                                         | 20 000                                            | 15,3                                           | 13,4                                        | 2550                                          |
| Дуралюмин . . .                                                                             | Д16Т                                                       | 2,80                                         | 7 200                                             | 16,4                                           | 10,0                                        | 2570                                          |
| Дуралюмин . . .                                                                             | В-95                                                       | 2,80                                         | профиль<br>60,0<br>пруток<br>58,0<br>лист<br>52,0 | 21,4<br>20,7<br>18,6                           | 18,9<br>18,2<br>16,1                        | —<br>2570<br>—                                |
| Стекловолокнистый<br>пластик (соотно-<br>шение продоль-<br>ных и попереч-<br>ных слоев 1:1) | СВАМ <sup>1)</sup>                                         | 1,9                                          | 3 500                                             | 26,0                                           | 22,0                                        | 1840                                          |
| Стеклотекстолит<br>на модифициро-<br>ванной феноль-<br>ной смоле . . .                      | КАСТ-В                                                     | 1,82                                         | 2 200                                             | 16,5                                           | 10,4                                        | 1209                                          |

<sup>1)</sup> А. К. Буров, Г. А. Андреевская, Высокопрочные пластики, стр. 47, Изд. АН СССР, М., 1958.

## Продолжение

| Материал                                                                                                | Марка                   | Удельный вес $\gamma$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | Модуль упру-<br>гости $E$ , кг/мм <sup>2</sup> | Удельная<br>прочность при                     |                                          | Удельная<br>жесткость $\frac{E}{\gamma}$ , см |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                                         |                         |                                              |                                                | астяже-<br>ния $\frac{\sigma_b}{\gamma}$ , см | сжатия $\frac{\sigma_{-b}}{\gamma}$ , см |                                               |
| Стеклотекстолит<br>на эпоксидно-фе-<br>нольной смоле                                                    | ЭФ-32-301 <sup>2)</sup> | 1,70                                         | 2 200                                          | 24,0                                          | 17,0                                     | 1300                                          |
| Стеклотекстолит<br>на полиэфир-<br>акрилатном свя-<br>зующем 911МС<br>горячего отвер-<br>ждения . . . . | СТ-911С                 | 1,70                                         | 2 100                                          | 23,5                                          | 8,8                                      | 1235                                          |
| Текстолит кон-<br>струкционный                                                                          | ПТК                     | 1,35                                         | 1 000                                          | 7,4                                           | 18,5                                     | 740                                           |
| Дельта-древесина<br>плиточная:<br>а) длинные<br>плиты (5,5 м)                                           | ДСП-10                  | 1,35                                         | 3 000                                          | 22,2                                          | 14,1                                     | 2222                                          |
| б) короткие<br>плиты (1,6 м)                                                                            |                         | 1,35                                         | 3 200                                          | 25,9                                          | 15,6                                     | 2370                                          |
| Дельта-древесина<br>листовая (в раз-<br>личных направ-<br>лениях под уг-<br>лами 0°, 90° и 45°)         | ДСП                     | 1,32                                         | 0°—1950                                        | 15,9                                          | —                                        | 1477                                          |
|                                                                                                         |                         |                                              | 90°—1800                                       | 12,1                                          | —                                        | 1364                                          |
|                                                                                                         |                         |                                              | 45°—1000                                       | 6,8                                           | —                                        | 758                                           |
| Сосна авиационная                                                                                       | ДРС                     | 0,52                                         | 1 300                                          | 23,7                                          | 8,1                                      | 2500                                          |

<sup>2)</sup> Б. А. Киселев, Стеклопласты—материалы будущего, стр. 36, Изд. АН СССР, М., 1959.

прочностью металлов и других конструкционных пластиков представлена в табл. I.

Основными составными частями стеклопластика любой марки являются: упрочняющий (армирующий) стекловолоконистый наполнитель и связующее — смола, подобранные с учетом их совместной работы в материале. Это часто обеспечивается соответствующей обработкой стеклянного волокна и возможно качественной его пропиткой, а также правильным выбором технологического режима прессования стеклопластика или изделий на его основе.

Помимо указанных свойств, стеклянные волокна обладают высокой термической стойкостью ( $400\text{--}600^\circ\text{C}$  для обычных составов стекол и до  $2500^\circ\text{C}$  для стекол специальных составов), химической стойкостью и рядом других свойств, в частности высокими тепло- ( $0,03\text{ ккал/м}^2\cdot\text{час}\cdot^\circ\text{C}$ ) и звукоизоляционными свойствами. Изменение состава стекла широко используется для получения стеклянных волокон, обладающих полупроводимостью и проводимостью, свойствами защиты от различных излучений, радиопрозрачностью, радиопоглощающими свойствами и т. п. Поэтому стеклянное волокно нужно рассматривать не как заменитель органических волокон, а как новый, оригинальный вид волокна, пригодный для самостоятельного применения в тканом или нетканом виде для приготовления на его основе различных материалов конструкционного, электротехнического, тепло- и звукоизоляционного назначения. Данные о применении стекловолокна в США в 1958 г. приведены в табл. II<sup>1)</sup>.

Широкий размах применения стеклопластиков за границей обусловил бурное развитие производства стеклянного волокна — исходного материала для их производства также в ряде стран Западной Европы, в США, Японии и других странах. Данные «Бюллетеня иностранной коммерческой информации»<sup>2)</sup> о мощности предприятий по производству текстильного стекловолокна (в тыс. *т*) представлены в табл. III.

<sup>1)</sup> В. Е. Шейко, Доклад на научно-техническом совещании в Харькове (июнь 1960) по вопросу использования стекловолокна в народном хозяйстве. — *Прим. ред.*

<sup>2)</sup> *Бюллетень иностранной коммерческой информации* (БИКИ), № 97, 13 августа 1959 г.

ТАБЛИЦА II

| Область применения                                        | Тыс. т | %     |
|-----------------------------------------------------------|--------|-------|
| Стеклопластики . . . . .                                  | 20,3   | 52    |
| Электротехника . . . . .                                  | 9,9    | 25,4  |
| Стеклобумага и лента для армированных пластиков . . . . . | 3,4    | 8,7   |
| Тенты, брезенты, навесы . . . . .                         | 2,8    | 7,2   |
| Фильтры . . . . .                                         | 1,2    | 3,1   |
| Стеклочулок, стеклорукав . . . . .                        | 0,2    | 0,5   |
| Канат, шнур и т. п. . . . .                               | 0,3    | 0,6   |
| Итого . . . . .                                           | 38,1   | 97,5  |
| Для бытовых целей (занавеси, шторы, драпировки) . . . . . | 1,0    | 2,5   |
| Всего . . . . .                                           | 39,1   | 100,0 |

ТАБЛИЦА III

| Годы | Всего в капиталистических странах, тыс. т | В том числе по странам |         |        |        |              |              |
|------|-------------------------------------------|------------------------|---------|--------|--------|--------------|--------------|
|      |                                           | США                    | Франция | Япония | Канада | Швеция       | ФРГ          |
| 1950 | 11,0                                      | 10,7                   |         | 0,2    | 0,1    | Нет сведений |              |
| 1955 | 37,1                                      | 34,4                   | 1,0     | 1,2    | 0,5    | »            | »            |
| 1958 | 57,9                                      | 46,8                   | 4,4     | 3,9    | 0,7    | 0,3          | 1,8          |
| 1959 | 74,6                                      | 62,8                   | 5,8     | 4,2    | 0,9    | 0,4          | Нет сведений |
| 1960 | 86,3                                      | 71,2                   | 8,2     | 4,6    | 1,0    | 0,4          | То же        |

Широкое применение в качестве связующих, особенно для получения крупногабаритных изделий (кузовов автомобилей, корпусов судов, обтекателей антенн, крупных агрегатов самолетов), получили полиэфирные смолы (табл. IV). За границей (в Англии, США, ФРГ, Швеции,

Голландии и других странах) используются полиэфирмалеинаты или полиэфирфталаты — продукты взаимодействия двухосновных карбоновых кислот с многоатомными спиртами — гликолями. В Советском Союзе за последние годы подобные смолы также получили применение<sup>1,2)</sup>;

ТАБЛИЦА IV

Области применения полиэфирных смол за рубежом<sup>1)</sup>

| Области применения                                    | Годы                               |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                       | 1951                               | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 | 1956 | 1957 |
|                                                       | % из общего распределения по годам |      |      |      |      |      |      |
| Судостроение . . . . .                                | 5                                  | 10   | 10   | 10   | 5    | 15   | 18   |
| Сухопутный транспорт (ж.-д., автобусы, грузовики) . . | 5                                  | 5    | 5    | 10   | 7    | 15   | 25   |
| Гофрированные листы (прозрачная кровля)               | 5                                  | 15   | 20   | 30   | 40   | 30   | 28   |
| Авиация . . . . .                                     | 50                                 | 45   | 40   | 20   | 20   | 15   | 10   |
| Другие области применения . . . . .                   | 15                                 | 15   | 20   | 20   | 8    | 10   | 9    |
| Литые смолы . . . . .                                 | 20                                 | 10   | 5    | 10   | 20   | 15   | 10   |

1) Perkyn B., Hulbert G. H., *Reinforced Plastics*, 3, № 8, 9 (1959).

однако, исходя из реальной сырьевой и производственной базы, а также из необходимости обеспечения повышенной термостойкости и минимальной усадки стеклотекстолитовых изделий, уже в течение ряда лет используют полиэфир-акрилаты<sup>3)</sup>. Они являются продуктами этерификации гликолей и глицерина с дикарбоновыми кислотами (фталевой, себациновой и др.) и одноосновной метакриловой кис-

1) П. З. Лн, Т. М. Луковенко, З. В. Михайлова и др., *Пластмассы*, № 2, 19 (1959).

2) П. З. Лн, З. В. Михайлова, Л. Н. Седова и др., *Пластмассы*, № 3, 14 (1959).

3) Я. Д. Аврасин, А. И. Пригорева, *Пластмассы*, № 1, 13 (1960).

лотой<sup>1,2</sup>). Для сополимеризации с полиэфирами используют мономеры стирола, метилметакрилата и диаллилфталата, но наиболее широко применяется стирол. Изменяя соотношения полиэфира и мономера, можно регулировать вязкость связующего, облегчая пропитку стекловолокнистого наполнителя. Процесс полимеризации полиэфиров, происходящий под воздействием перекисных инициаторов (перекись бензоила и др.), не сопровождается выделением побочных продуктов реакции, что позволяет использовать низкое удельное давление и относительно простую технологическую оснастку при формировании крупногабаритных изделий. Усадка полиэфирмалеинатов после отверждения в результате полимеризации достигает 5—8%, а для полиэфиракрилатов она составляет 0,5—1,5%.

Для изготовления изделий из стеклопластиков также применяются эпоксидная, эпоксидно-фенольная, модифицированные фенольные смолы для прессования при низком и высоком давлении, кремнийорганические смолы в модифицированном и немодифицированном виде, фенольно-фурфурольные и меламиновые смолы. Каждая из указанных смол имеет специфическое назначение в зависимости от конкретных требований к материалу или к качеству изделия в условиях эксплуатации<sup>3</sup>).

Так, при одном и том же упрочняющем стекловолокнистом наполнителе модифицированные кремнийорганические смолы обеспечивают получение материала с большей термостойкостью и лучшими диэлектрическими свойствами, чем фенольные смолы, а эпоксидно-фенольные смолы обеспечивают получение более высокопрочного стеклопластика, чем полиэфирные смолы, хотя технологические свойства последних имеют явное преимущество, и т. п. Следовательно, правильный выбор основных составляющих стеклопластика — смолы, армирующего наполнителя и технологии их переработки в изделия может обеспечить получение стеклопластиков с заданными свойствами, требуемыми для решения

<sup>1</sup>) А. А. Берлин, Г. Л. Попова, Е. Ф. Исаева, *ДАН СССР*, 123, № 2, 282 (1958).

<sup>2</sup>) А. А. Берлин, Г. Л. Попова, Е. Ф. Исаева, *Высокомолекулярные соединения*, 1, № 7, 966 (1959).

<sup>3</sup>) Б. А. Киселев, *Успехи химии*, XXVII, вып. 9, 1109—1113 (1958).

разнообразных задач многочисленных отраслей техники и народного хозяйства. Эти вопросы довольно полно освещены в соответствующих главах данной книги.

В ряде случаев, например при изготовлении обтекателей радиолокационных станций, стеклопластики благодаря своим высоким механическим и радиотехническим характеристикам являются пока незаменимыми материалами. Следует полагать, что в судостроении применение стеклопластиков как основного материала для постройки судов произведет столь же значительные качественные сдвиги, как, например, внедрение сварки или использование легких сплавов<sup>1)</sup>. Данные о применении стеклопластиков в США представлены в табл. V.

Ожидалось, что в 1959 г. производство и потребление стеклопластиков составит в США 100 тыс. т.

ТАБЛИЦА V

*Применение стеклопластиков в различных областях техники в США*

|                                      | 1957 г. |     | 1958 г. |     |
|--------------------------------------|---------|-----|---------|-----|
|                                      | тыс. т  | %   | тыс. т  | %   |
| Транспорт . . . . .                  | 15,2    | 20  | 13,4    | 16  |
| Самолето- и ракетостроение . . . . . | 11,4    | 15  | 8,4     | 10  |
| Строительство . . . . .              | 11,4    | 15  | 14,3    | 17  |
| Судостроение . . . . .               | 11,4    | 15  | 16,8    | 20  |
| Товары ширпотреба . . . . .          | 11,4    | 15  | 10,9    | 13  |
| Приборостроение . . . . .            | 2,3     | 3   | 3,4     | 4   |
| Контейнеры . . . . .                 | 2,3     | 3   | 3,4     | 4   |
| Электротехника . . . . .             | 2,3     | 3   | 3,4     | 4   |
| Трубы, цистерны . . . . .            | 1,5     | 2   | 2,5     | 3   |
| Разное . . . . .                     | 6,8     | 9   | 7,5     | 9   |
| Всего . . . . .                      | 76,0    | 100 | 84,0    | 100 |

<sup>1)</sup> Б. А. Архангельский, И. М. Альшиц, Суда из пластмасс, Госсудиздат, 1960.

Настоящая книга, состоящая из 18 самостоятельных глав, написанных коллективом авторов, охватывает большой круг вопросов по исходным стекловолоконным материалам и смолам для производства стеклопластиков, а также по технологии изготовления изделий на их основе, применяемых в различных отраслях промышленности.

Эта книга, обобщающая в значительной степени опыт США и Англии до 1957 г., представит несомненный интерес для специалистов, работающих в области стеклопластиков, так как в ней приводятся некоторые данные о производстве и применении стеклопластиков, которые еще слабо освещены в отечественной литературе и которые еще не получили в СССР должного развития (так, например, о применении стеклопластиков в судо- и автомобилестроении; механизация процесса производства стекловолоконных изделий из рубленых стеклянных волокон по так называемому центробежному и другим способам; вопрос получения стеклотекстолитовых труб различными методами; получение пресовочной пластмассы на основе полиэфирных смол и стеклянных волокон и изделий на ее основе и т. п.). Наконец, в книге даны полезные советы, связанные с выбором материалов и конструкции изделия из стеклопластиков. Приведен, например, расчет для получения труб методом намотки с заданной прочностью и т. п. Из указанного отнюдь не следует, что книга не лишена недостатков. Так, в отдельных главах имеются повторения, высказывания авторов часто противоречивы, слабо освещены вопросы влияния температуры на изменение механических свойств стекловолоконных наполнителей и стеклопластиков на их основе, вопросы усталостной прочности и демпфирующих свойств стеклотекстолитов. Практически не затронут вопрос изготовления труб из стеклопластиков применительно к требованиям ракетной техники, хотя по этому вопросу имеются опубликованные данные как зарубежных, так и советских авторов.

Нельзя не отметить, что в книге полностью игнорируются оригинальные работы, проведенные советскими исследователями в области стеклопластиков, например работы А. К. Бурова и Г. А. Андреевской по анизотропным стекловолоконным материалам типа СВМ, опубликован-

ные в 1956 г.<sup>1)</sup>, работы А. К. Булова и М. В. Классен-Неклюдовой, опубликованные еще в 1945 г.<sup>2)</sup>, работы М. С. Аслановой по проведенным ею оригинальным исследованиям в области изучения влияния термической обработки и ряда других факторов на прочность стеклянных волокон и материалов на их основе, опубликованные еще в 1945 г.<sup>3)</sup>, а затем описанные в докторской диссертации в 1954 г.<sup>4)</sup>. Эти примеры можно было бы продолжить, если коснуться других разделов книги: химии полимеров, разработки и изучения свойств стеклопластиков и технологии их переработки в изделия.

Указанное выше не дает желаемой полноты освещения всей столь многосторонней проблемы стеклопластиков, однако книга в целом представляет значительную ценность для советского читателя. Следует ожидать, что знакомство с книгой и той обширной литературой, которая указана после каждой главы, поможет освоению зарубежного опыта в области использования стеклопластиков.

*Я. Аврасин*

<sup>1)</sup> А. К. Булов, Г. А. Андреевская, Стекловолоконистые материалы и их техническое применение, Изд. АН СССР, М. (1956).

<sup>2)</sup> А. К. Булов, М. В. Классен-Неклюдова и др., Ж. Т. Ф., т. XV, вып. 7, стр. 407 (1945).

<sup>3)</sup> М. С. Асланова, Волокно, нити и ткани из стекла, Гизлегпром, М. (1945).

<sup>4)</sup> М. С. Асланова, Докторская диссертация, М. (1954).