

Б. И. ЛОСЕВ, М. А. МОНИНА

СТЕКЛО- ПЛАСТИКИ



Б. И. ЛОСЕВ, М. Л. МОНИНА

СТЕКЛО- ПЛАСТИКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва 1964

Индекс $\frac{6\Pi 7}{\text{Л}79}$

Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РСФСР,
доктора технических наук, профессора

И. П. Лосева

«XX век — век полимеров...». «Капрон вместо стали...». Каждый день мы читаем в газетах сообщения, неожиданные и впечатляющие: «искусственное сердце из полимеров», «жилой дом из пластмассы», «новые материалы сдают еще один экзамен».

А так ли уж новы полимеры?

Более ста лет назад, в 1862 г., изобретатель Александр Паркс представил на Лондонскую международную выставку изделия из материала «Парксайн», о котором в официальном каталоге говорилось: «Этот материал может быть сделан твердым, как слоновая кость, прозрачным или непрозрачным, эластичным в любой степени, также водостойким; может иметь наиболее яркие расцветки, может быть использован в твердом, пластичном или жидком состоянии, может изготавливаться штамповкой и прессованием, как металлы, может быть отлит или использован в виде покрытий для самых разнообразных веществ, может быть распылен или нанесен таким же способом, как каучук, и подвергаться атмосферному воздействию в течение многих лет, сохраняя свои свойства... может обеспечить наиболее совершенную имитацию черепахового панциря, дерева и дать бесконечно разнообразные эффекты».

Работа Паркса не осталась без внимания. Изобретатель получил солидную премию — 10 тысяч фунтов стерлингов за... создание заменителя дорогой слоновой кости, из которой раньше изготавливались бильярдные шары. А в 1962 г. столетие со дня выдачи патента на «Парксайн» было торжественно отмечено как официальная дата рождения первого представителя обширнейшего семейства синтетических полимерных материалов. Конечно, юбилей этот весьма условен, многие ученые считают, что первым пластическим материалом, как мы его сейчас представляем, был целлулоид. И все-таки патент Паркса интересен тем, что в нем были суммированы главные особенности полимерных материалов и на многие годы предопределена их судьба.

В описании «Парксайна» была подмечена основная черта полимеров — универсальность их свойств. В самом деле, каждый природный материал наделен совершенно характерными качествами: сталь очень прочна, но тяжела и боится коррозии, хрупкость и прозрачность стекла вошли в поговорку, кожа эластична, но не слишком прочна... А полимеры — это материал, который по необходимости можно сделать прозрачным и непрозрачным, твердым и эластичным, на долгие годы покрасить в любой цвет. С появлением пластмасс человек становился творцом искусственных материалов, свойства которым он мог заранее задать сам. И все же удивительные свойства пластмасс выявлялись далеко не сразу. Очень долгие годы они значились в разряде «заменителей». «Дешевые заменители дорогих природных материалов» — что-то неполноценное, вроде подделки. И десятилетиями из пластмасс изготавливали, правда уже в массовом количестве, тот же ассортимент изделий, который был представлен когда-то на Лондонской выставке 1862 г.: гребни, пуговицы, медальоны, пепельницы, словом, мелочь. О жилом доме, о железнодорожном вагоне, о корабле из пластмасс и не думали. А все потому, что при прочих отличных качествах им не хватало главного — прочности.

Вторая мировая война резко повысила в некоторых западных странах спрос на конструкционные материалы. Природных материалов явно не хватало. Понадобились новые, способные заменить в строительных и механических конструкциях, работающих под большими нагрузками, традиционные металлы, дерево, железобетон. Вот тогда химики всерьез занялись пластмассами.

У всех пластмасс, несмотря на разнообразие их свойств, есть много общего: это легкость (они в несколько раз легче алюминия), на них не действует ни вода, ни многие щелочи и кислоты (значит, проблема коррозии решена), у них отличные технологические свойства (подвергаются переработке в изделия любой формы), они удобны в эксплуатации (легко отмываются и ремонтируются, не требуют поверхностной окраски). Все хорошо, но как при этом добиться еще и прочности?

Бетон превращается в крепчайший железобетон, если его соединить с металлической арматурой. Может, этот путь пригоден и для пластмасс? На роль арматуры в этом случае претендовали асбестовое и искусственное волокно, текстильные ткани, металлы и, наконец, стеклянное волокно. Победило стекло. А в результате родился новый высокопрочный материал — стеклопластик — конкурент металла, дерева и даже железобетона. Одновременно возник и термин «конструкционная пластмасса».

Основные составные части нового материала — стекловолокно и различные синтетические смолы. Оговоримся сразу, что сами по себе они для человека не новы. Стеклянное волок-

но было известно еще древним египтянам (флакончик для духов, оплетенный таким волокном, был обнаружен в пирамиде 18-й династии, относящейся к 1300 г. до нашей эры). Большинство синтетических смол тоже не так уже молоды. Но впервые соединенные вместе, оба материала дали жизнь третьему, новому материалу, с появлением которого пластмасса безоговорочно перестала быть «просто заменителем».

Разнообразие свойств и возможность регулировать их в самых широких пределах, изменяя как состав смолы, так и вид стеклянного наполнителя, беспредельно расширяют возможности стеклопластиков. Области применения их чрезвычайно многообразны. Тут корпуса судов и ракет, мебель и медицинское оборудование, детские игрушки и железнодорожные вагоны, опоры линий электропередач, цистерны для хранения воды и нефтепродуктов. И повсюду стеклопластики позволяют уменьшить вес конструкций, упростить производственный процесс, сократить трудовые затраты. Правда, сейчас у стеклопластиков появились серьезные конкуренты, новые пластмассы — поликарбонат и полиформальдегид, которые хотя и не армированы, но по прочности успешно соперничают с металлами. Однако пока стеклопластики уверенно удерживают свои позиции.

Вообще говоря, бурные темпы развития промышленности пластмасс (опережающие все остальные отрасли промышленности) — это отличительная черта нашего времени. С начала этого столетия производство пластмасс выросло в 500 раз! И если в 1900 г. весь мир произвел лишь 20 000 т синтетических смол и пластмасс, то в 1962 г. их выпуск перевалил уже за 9 миллионов тонн. При этом производство стеклопластиков только за последнее десятилетие увеличилось в 25 раз.

Нашему народному хозяйству чрезвычайно необходима конструкционная пластмасса. Декабрьский (1963 г.) Пленум ЦК КПСС поставил задачу — довести выпуск синтетических смол и пластмасс в 1970 г. до 3,5 — 4 млн. т. Это значит, что через шесть лет мы будем в 6—6,9 раза богаче полимерами, чем сейчас. И одно из самых видных мест среди них будет отведено стеклопластикам.

Уже в нынешнем году производство одних только волнистых листовых стеклопластиков вырастет по сравнению с 1963 г. в 4,6 раза, а в 1965 г. — в 10,9 раза. Мощность предприятий, выпускающих стеклопластики, будет расти год от года и уже через два года увеличится в 3 раза. Только одна линия Мытищинского комбината синтетических строительных материалов скоро будет производить в год 1 млн. м² стеклопластиковых панелей.

Познакомимся же поближе с теми исходными веществами и материалами, из которых получают стеклопластик. Мы уже говорили, что основой его служат синтетическая смола и сте-

клянный наполнитель. От их выбора зависят многие свойства будущего материала. Поэтому и классификация стеклопластиков основывается на типах смолы и наполнителя.

Почему победило стекло?

Действительно, почему для армировки пластмасс было выбрано именно стеклянное волокно? Потому, что на его стороне ряд крупных преимуществ. Прежде всего сырье для него используется доступное, дешевое. Вот оно, буквально у нас под ногами, — это песок, мел, горные породы. Но дело не только в этом.

По физико-механическим свойствам оно превосходит во многом другие волокна. Стеклянную нить разорвать гораздо труднее, чем хлопчатобумажную или шелковую, и почти так же трудно, как металлическую. Ее не просто и растянуть; относительное удлинение при разрыве не превышает 2—3%, в то время как у некоторых синтетических волокон оно составляет сотни процентов. Стекловолокно отличают высокая теплоустойчивость и огнестойкость, оно не боится агрессивных химических веществ и бактерий. Хорошо сохраняя заданную форму и размеры, оно, с другой стороны, легко принимает конфигурацию, изготавливаемого изделия.

Стеклянное волокно можно использовать не только для армировки, но и в качестве самостоятельного материала. Например, за рубежом оно служит изоляцией в ракетах, где приходится иметь дело с жидким кислородом (температура минус 200°). То же волокно выступает в роли стекловаты, заполняющей панели — стены жилых домов, благодаря чему тонкая — всего в 10 см толщиной — стенка становится непроницаемой для жары и холода, подобно кирпичной кладке метровой толщины.

Стеклянным волокном можно армировать не только синтетические смолы, но даже и... лед.

Вот как представляют себе возведение переправы через реку с помощью стекловолокна советские изобретатели А. И. Ожерельев и В. А. Червяков. В ледяной корке нарезаются продольные и поперечные каналы, куда укладывают стеклянную армировку. Затем на дне каналов пробивают отверстия, через которые проникает вода. Когда она замерзнет — мост готов. Армированный лед толщиной в 20 см может выдержать большегрузные автоколонны, полуметровый — железнодорожные поезда. Шпалы с прикрепленными к ним рельсами укладываются прямо на ледяной покров. Весной, когда лед подтаивает, арматурную сетку вытягивают на берег.

Ледяная трасса надежна, как капитальный мост. К тому же она гораздо дешевле. Капитальный мост длиной в кило-

метр требует на возведение два года, свыше тысячи рабочих и затраты в 3 млн. руб. А на сооружение ледяной переправы подобной длины требуется всего пять дней, 20 рабочих и около 4 тыс. руб.

С помощью стекловолокна можно повысить прочность даже металла. Например, алюминия. Обычно алюминий теряет прочность уже при температуре 150°C . Но армированный стекловолокном, он сохраняет прочность до температуры $+425^{\circ}\text{C}$ (при которой начинает размягчаться само стекло).

В некоторых случаях бывает выгоднее совсем отказаться от металла и заменить его стекловолокном. Вот пример. Предварительно напряженный бетон до сих пор армируют специальной сталью, которая намного дороже обычной. При длительном пребывании во влажной среде, например в плотинах, свайных основаниях, она корродирует. Сейчас за рубежом ведут успешные опыты по замене стали стержнями из стекловолокна. Арматура бетонных изделий из стеклопластиков по своим качествам превосходит металлическую — таков вывод практиков.

Свойства стеклянной нити отличаются от свойств стеклянной массы, из которой она получена. С уменьшением толщины волокно становится более гибким, прочность его возрастает. Например, чтобы разорвать волокно, диаметр которого составляет 9 $\mu\text{к}$, нужно приложить на один его квадратный миллиметр усилие в 220—250 кг. Если же диаметр волокна уменьшится до 5 $\mu\text{к}$, то потребуется уже усилие несколько большее. Однако с увеличением прочности растет и чувствительность стекла к действию воды и растворов кислот. Причина тут — в большей поверхности волокна.

Из элементарной геометрии известно, что площадь поверхности резко возрастает с увеличением длины. Так, если поверхность цилиндра объемом 1 см^3 и диаметром 1 см равна 5,3 см^2 , то волокно диаметром 10 $\mu\text{к}$ при таком же объеме образует поверхность почти в тысячу раз большую. Поэтому вода, получив возможность атаковать сразу большое число молекул, образующих эту поверхность, легко вымывает из стеклянного волокна щелочь и разрушает его. Но от этой неприятности волокно научились избавлять: для его изготовления пользуются теперь специальным бесщелочным стеклом, которое наделено значительно большей стойкостью к воде и к химическим растворам. Однако надежнее — спрятать чувствительное стеклянное волокно под защитное покрытие. Так и делают: снаружи стеклопластик покрывают тонким слоем чистой смолы.

И все же неприятности на этом не кончаются.

Если прочность одного тоненького волокна принять за единицу, то будет ли прочность нити, составленной, положим, из

десяти волокон, в 10 раз больше? Казалось бы, да. А на самом деле такая нить прочнее одного волокна всего в 7 раз. Дело тут в том, что добиться абсолютно равномерного и параллельного распределения волокон в нити практически не удается. Поэтому неизбежно трение стеклянных волокон друг о друга, а они к нему чрезвычайно чувствительны. Вот почему пряжи примерно параллельных волокон более прочны, чем крученые нити.

При дальнейшей обработке нить еще больше теряет свою прочность. Прочность ткани снижается еще на 30—40%. Поэтому самые прочные, самые высококачественные конструкционные стеклопластики имеют армировку в виде жгутов и лент, ориентированных в клеящей среде. Их изготавливают по специальной технологии.

В современной технике нашли применение два основных вида стеклянного волокна: непрерывное и короткое штапельное. Они отличаются друг от друга и способом изготовления, и физико-механическими свойствами.

Первичные волокна, соединенные вместе, образуют пряжи, из которых получают элементарные нити, ровницу и продукты их переработки (ровница — это пучок из 60, реже из 6 или 12 непрерывных прядей, намотанных на цилиндрическую катушку). Этот вид стеклянной армировки придает высокую прочность материалу в каком-то одном направлении. Элементарные нити редко используют в качестве упрочняющего наполнителя. Они идут на изготовление ткани и жгута.

Другой вид стеклянной армировки — это ткань и ленты. Они различаются по весу, толщине, типу и номеру нити, числу нитей по утку и основе, по типу переплетения. Для армировки применяются ткани, названия которых, как и типы волокон, заимствованы из текстильной промышленности. Это ткани полотняного переплетения (одинаковое число нитей основы и утка примерно одного диаметра), саржевого (уток огибает две и более нитей основы) и сатинового или атласного (каждая нить основы или утка проходит соответственно над несколькими нитями утка или основы так, что в точках пересечения они не касаются друг друга). Саржевое переплетение дает более гибкую ткань, нежели полотняное, а сатиновое — самую гладкую.

Стоит упомянуть и так называемую однонаправленную ткань, прочность которой в каком-либо одном направлении намного выше, чем в другом. Чаще всего производятся ткани с усиленной основой: вес нитей основы в 8—10 раз превышает вес нити утка.

Есть еще один вид стеклянной армировки — стекломаты. Обычно основу стекломатов составляют рубленые пряжи длиной 25—30 мм. Как и нетканые ткани, их нужно связать воедино. Пряжи обрызгивают клейким связующим и отправляют в

печь. Там смола отвердевает. Известен и другой способ изготовления матов — механическим связыванием, сшиванием; такие маты отличаются особенной гибкостью. Иногда стекломаты изготавливают из ровницы, тогда получают материал, по структуре сравнимый с нетканой тканью.

Стеклоткань и лента — самые дорогие виды стеклянной армировки. Их используют только там, где требуется особая прочность материала, например в авиастроении. Лентой нередко упрочняют кромку крыла самолета. Ровница служит хорошую службу в изделиях, которым необходима высокая прочность только в одном направлении. Примером тут могут стать трубы. Стекломаты дешевле, но менее прочны. Такая армировка идет в изделия подешевле, но крупного габарита: в прозрачные строительные панели, лодки, кузова автомобилей.

Синтетическая смола в роли цемента

Чтобы прочная, но мягкая стеклоткань превратилась в твердую строительную панель или корпус лодки, ее нужно закрепить, «зацементировать». Роль цемента в этом случае с успехом выполняют, как мы уже говорили, высокомолекулярные синтетические смолы: термореактивные (эпоксидные, ненасыщенные полиэфирные, фенолоформальдегидные, кремнийорганические и другие), а также термопластичные (поливинилхлоридные, полистирольные, политетрафторэтиленовые и т. д.). Если хотят получить стеклопластики, стойкие к высоким температурам, то используют в качестве связующего металлоорганические и неорганические полимеры.

В настоящее время известно огромное число синтетических смол, но далеко не все они применяются в производстве стеклопластика. Познакомимся поближе с теми из них, что оказались достойными партнерами стеклянной нити.

Это в первую очередь полиэфирные смолы. Подбирая при их производстве те или иные типы исходных продуктов, можно в широких пределах менять их свойства. Полиэфирные смолы недороги, легко поддаются обработке. При отвердевании не требуют охлаждения и повышенного давления — недостаток других синтетических смол. Стеклопластики, полученные на основе полиэфирных смол, наделены хорошими физическими и химическими свойствами. Вот почему $\frac{9}{10}$ армированных пластиков, выпускаемых в США, и почти столько же в странах Западной Европы изготавливаются на основе именно таких смол.

В нашей стране на долю полиэфирных смол приходится

примерно половина связующих, используемых в производстве стеклопластиков.

Объективности ради надо отметить, что эти смолы не лишены и недостатков. При охлаждении деталь из полиэфирного стеклопластика дает усадку на 6—10% от первоначального объема. Форма готового изделия искажается. Но это полбеды. Особенно опасно то, что при этом образуются трещины в смоле и по ним к стеклянному волокну попадает вода.

Эпоксидные смолы свободны от этого недостатка. К тому же у них есть и дополнительные преимущества. Эти смолы устойчивы к действию воды и различных химических веществ, наделены прекрасными диэлектрическими свойствами. И, что особенно важно, их физические свойства можно менять по желанию: эпоксидные смолы могут быть как мягкими, резиноподобными, так и твердыми, хрупкими.

Эпоксидные стеклопластики превосходят по своим свойствам все остальные стеклопластики, они долго и хорошо сохраняют форму, не боятся ударных нагрузок и вибраций. Именно поэтому их используют в самых ответственных изделиях. В США, например, они находят все большее применение в самолетостроении.

Отдельные компоненты стеклопластика, в первую очередь эпоксидные смолы, нередко применяются и как самостоятельный материал, скажем, для исправления дефектов в металлическом литье и для ремонта изделий из металла. Смолой можно «замазать» трещину в деталях механизмов, исправить коррозионное разрушение, заделать сквозное отверстие. Как показали испытания, эпоксидные смолы очень прочно подклеиваются к металлам, а место сцепления не боится ни пресной, ни морской воды, ни нефтепродуктов, ни масел. Затвердевшие составы хорошо поддаются механической обработке.

Метод «починки» литья и деталей с помощью эпоксидных смол несложен. Внедрение его позволяет увеличить выпуск продукции и быстро ремонтировать детали и механизмы.

В Германской Демократической Республике были проведены исследования, которые показали, что эпоксидные составы можно использовать для ремонта корпусов букс, сильно изнашивающихся при эксплуатации. Локомотив, буксы которого были отремонтированы специальным составом из эпоксидной смолы с железными опилками в качестве наполнителя, прошел еще пять тысяч километров без каких-либо повреждений.

Эпоксидная смола незаменима для сохранения и реставрации музейных ценностей, так как это единственная искусственная смола, в которой в процессе отверждения не создается напряжений и в отличие от других смол не происходит выделения летучих продуктов.

Не так давно на вооружении строителей появился новый вяжущий раствор, в состав которого входят эпоксидные смо-

лы. Он наносится на кирпичи или цементные блоки очень тонким слоем (не толще 3 мм). Более высокая стоимость нового материала здесь компенсируется экономией рабочей силы. К тому же новый строительный раствор после затвердения оказывается прочнее самих кирпичей, чего не скажешь о традиционном цементном растворе.

И все же эпоксидные смолы обходятся настолько дорого, что химики попытались создать смолу для стеклопластиков подешевле.

Меняя исходные материалы, методы их обработки, комбинируя их с другими синтетическими смолами, ученые получили так называемые фенольные смолы низкого давления. Хотя они и не могут соревноваться с эпоксидными смолами (их отличает хрупкость, сравнительно слабая адгезия — прилипание к стеклянному волокну, меньшая теплостойкость), зато они намного дешевле.

Значительно реже и только в сочетании со стеклонаполнителем применяются меламиновые смолы. Они бесцветны, светостойки и поддаются любой окраске. С помощью этих смол можно получить твердый, прочный стеклопластик, который не боится огня и не проводит электричество. К сожалению, они пока еще слишком дороги, а потому применяются куда реже других смол.

Если стеклопластики предназначаются для электротехнических изделий, то основой их служат, как правило, кремнийорганические смолы. У таких стеклопластиков отличная теплостойкость. Они могут длительное время работать при температурах до 250°. Можно поднять температуру и выше, но ненадолго. Если же взять в качестве связующего неорганический полимер, то материалу будет не страшно и куда более высокая температура.

Полиэфирные, эпоксидные, меламиновые и фенольные синтетические смолы называют обычно термореактивными. Существует и другое семейство синтетических смол — термопластичные. У термореактивных смол один общий недостаток, которому они обязаны своим названием: они не допускают повторной термообработки. Попробуйте нагреть изделие из такого стеклопластика. Оно разрушится. Другое дело — термопластичные смолы. Изделие из термопласта можно отправлять в печь снова и снова и, размягчая, каждый раз придавать ему новые и новые формы. Однако по прочности и стойкости термопласты существенно уступают термореактивным пластикам. И здесь на сцену выступает спасительная армировка.

Работы по улучшению свойств термопластов с помощью армировки из стеклянного волокна уже дали неплохие, а порой и неожиданные результаты. Комбинируя термопластичную синтетическую смолу: найлон, полистирол, акрилонитрил или поликарбонат — со стеклянным волокном, получают ма-

материал, обладающий новыми интересными свойствами по сравнению с пластиком на основе чистых смол. Обычно ударная вязкость (сопротивляемость удару) термопластов при охлаждении снижается. Породнившись со стеклянной нитью, термопластичная смола уже не боится холода. Больше того, при охлаждении ее ударное сопротивление даже возрастает.

Все физические и механические свойства термопластов улучшаются при введении в материал стеклонаполнителя. Сравним для примера данные о таком важном свойстве конструкционного материала, как предельная прочность на разрыв (обычно ее выражают в кг/см^2):

Предельная прочность на разрыв

	Пластмасса на основе чистой смолы	Армированная пластмасса
Поликарбонат	630	1320
Найлон	830	1340—2100 (для разных марок)
Акрилонитрилбутадиенстирол .	770	1050—1400

Мы видим, что прочность на разрыв (как, впрочем, прочность на сжатие и на изгиб с введением армировки из стеклянного волокна) повышается в 2—2,5 раза. Правда, некоторые из термопластичных пластмасс сами по себе очень прочны даже в чистом виде и успешно конкурируют с металлами (всем известны капроновые втулки, подшипники, даже гребные паровые винты). Но в союзе со стекловолокном они становятся еще прочнее. И не только прочнее...

Обычно изделия из термопластов значительно меняют свои размеры под влиянием воды и тепла. Это, конечно, совершенно недопустимо в ответственных деталях конструкций. Допуски в сопрягаемых деталях должны сохраняться неизменными. Как показали длительные опыты, в результате армирования коэффициент теплового расширения готовых изделий уменьшается в 5—6 раз по сравнению с первоначальным значением. В такой же степени падает способность армированного пластика поглощать воду, а значит, набухать в воде. Поэтому конструкция из армированных пластмассовых деталей становится пригодной для работы в любых климатических условиях. Она надежно служит и в дождь, и в жару, сохраняя неизменной и форму, и размеры.

Армированные термопласты в этом отношении могут поспорить даже с металлами. Коэффициент линейного расширения при нагревании на 1° составляет: у нейлона 105×10^{-6} , поликарбоната 70×10^{-6} , у армированного нейлона $16—24 \times 10^{-6}$, армированного поликарбоната $12,6 \times 10^{-6}$, в то время

как у алюминиевого литя $22,5 \times 10^{-6}$, меди $20,1 \times 10^{-6}$, у стали 15×10^{-6} . Это значит, что десятиметровая полоса металла при нагревании, скажем, на 10° удлинится на полтора-два миллиметра. Армированный нейлон в тех же условиях также увеличит свою длину на 2,2 мм, а армированный поликарбонат и того меньше — всего на 1,2 мм, в то время как до армировки они «выросли» бы на целых 7—10 мм. А такое удлинение весьма ощутимо, если речь идет, например, о многометровой трубе.

В зарубежной печати появились сообщения еще об одной синтетической смоле — полиуретановой. С помощью армирования стеклянным волокном на ее основе получили стеклопластик высокого качества. Новый материал был использован в трубопроводах и контейнерах.

По прочности на изгиб полиуретановый пластик не уступает стеклопластикам, созданным на базе полиэфирных, эпоксидных и фенольных смол. Например, лист полиуретанового стеклопластика толщиной 2,3 мм имеет предел прочности на изгиб, равный 6300 кг/см^2 (сравним с 3500 кг/см^2 у полиэфирного и 4900 кг/см^2 — у обычного эпоксидного стеклопластика почти такой же толщины). Естественно, что полиуретановый стеклопластик с успехом используется, как это сообщает зарубежная печать, в сверхзвуковой авиации и в ракетостроении.

Четыре главных гибрида

Итак, мы выяснили, какую роль играет стеклянное волокно в создании конструкционной пластмассы. Проследили, как, «скрепляя» разные виды стекловолокна с искусственными смолами, химик получает новые и новые сорта стеклопластиков. Может возникнуть вопрос: сколько же всего существует видов этого материала? И тут, надо отметить, при всем многообразии свойств и методов получения стеклопластиков существует вполне определенное количество основных их видов, а именно — четыре. Все же остальные сорта лишь разновидности этих четырех.

Познакомимся поближе с основными типами стеклопластиков.

Первый, «главный» тип — стеклотекстолиты. По внешнему виду они напоминают слоеный пирог. Отсюда их другое название — слоистые пластики. Начинка в этом «пироге» — стеклянная ткань. Стеклотекстолиты обладают высокой прочностью, хорошей теплостойкостью, малым удельным весом и потому широко применяются в различных отраслях техники.

Второй вид — стекловолокниты. Изготавливаются они литьем и прессованием. Стеклянный наполнитель используется

здесь в виде стекломата или ленты. Из стекловолоконитов получают, как правило, изделия небольших размеров.

Вот, к примеру, отечественный стекловолокнит марки АГ-4. Это так называемый термореактивный материал, созданный на основе модифицированной фенолоформальдегидной смолы. Изготавливают его прессованием и отводят ему довольно ответственные роли в конструкционных и электротехнических изделиях, которые продолжительное время работают при температуре до 200° или кратковременно (1—2 часа) до 250°. В этих условиях от материала требуется повышенная прочность. Стеклонаполнителем в данном случае служит стекломат или ленты из стеклянного волокна различной ширины и длины.

Присмотримся поближе к свойствам стекловолокнита АГ-4. Этот материал гораздо легче многих металлов, один его квадратный сантиметр может выдержать, не разрушаясь, больше тонны веса. Подвесьте груз в две тонны к тросу из АГ-4 со стеклонаполнителем в виде ленты, и при толщине всего в один сантиметр трос не оборвется. Пролежав сутки в воде, образец стеклопластика АГ-4 площадью в один квадратный дециметр поглотит лишь 50 мг жидкости. Тот же результат дает погружение в масло, и только кислоты проникают в материал в 2 раза интенсивнее.

Третий вид стеклопластиков — ориентированные, или, иначе, однонаправленные. Это материал, в котором стеклянные волокна, пряжи, с нанесенными на них связующими — синтетическими смолами, уложены параллельными рядами. Наибольший интерес среди таких материалов представляет СВАН, стеклопластик, состоящий из отдельных слоев стеклошпона — листа параллельно расположенных стеклянных волокон, склеенных синтетической смолой.

Отличительная черта СВАН — анизотропность. Это значит, что свойства материала в разных направлениях различны — обстоятельство весьма ценное в технике. Известно, что обычно нагрузка действует сильнее всего в каком-то одном направлении. Поэтому и прочность материала должна быть наибольшей именно в этом направлении. В природе анизотропные свойства часто встречаются у самых разных материалов. Не может обходиться без таких материалов и современная техника.

У стеклопластиков с ориентированной армировкой в виде стеклянных нитей или лент есть неоценимое достоинство: они обладают самой высокой прочностью на растяжение и изгиб. По сравнению с другими видами стеклопластиков здесь появляется возможность максимально использовать прочность стеклянной армировки и высокие качества стеклянной нити.

По той причине, что в материале царит дисциплина и порядок — нити «выстроены» строго параллельными рядами,

иначе говоря, строго ориентированы, — удается избежать снижения прочности, вызываемой обычно текстильной переработкой стекловолокна, от которой страдают, например, стеклотекстолиты. Значительно упрощена в сравнении со стеклотекстолитами и технология получения материала, готового к формованию. Становится ненужным громоздкий парк текстильного оборудования. Укладку и ориентацию армирующих материалов и нанесение на них связующих можно совместить в одной операции. Наконец, есть возможность отказаться от замасливателей, которые лишь ухудшают адгезию (прилипание) смол к стеклу.

Технология получения некоторых марок прочных армированных стекловолоконитов разработана во Всесоюзном научно-исследовательском институте стеклянного волокна и в Научно-исследовательском институте пластических масс Государственного комитета химической промышленности.

Ориентированные стеклопластики зарекомендовали себя высокопрочным конструкционным материалом: их используют при изготовлении многих ответственных деталей авиационных конструкций, труб и цилиндрических изделий различного назначения, емкостей, балок и профильных изделий, деталей машин... Тонкий и легкий стеклошпон — лист из параллельных стеклянных волокон, склеенных смолой, можно с успехом использовать в качестве изоляции, а в результате значительно снизить и вес, и габариты различных электрических машин и приборов.

Теперь нам осталось познакомиться с четвертым — последним из группы основных — видом стеклопластиков. Это материалы, изготовленные на основе предварительно формованного (таблетированного) стеклянного волокна или стекломатов. Получают их методом прессования при низком давлении. Четвертый тип пластиков не может сравниться по прочности ни со стеклотекстолитами, ни с ориентированными стеклопластиковыми. Зато он проще в изготовлении и несколько дешевле.

Как мы видим, у каждой из четырех групп стеклопластиков есть свои особенно ценные качества, есть и явные недостатки. Имея это в виду, конструктор очень часто использует в одном изделии разные типы материалов. Возьмите, например, трубы из стеклопластиков. При их намотке чередуют слои стеклянной ровницы и тканей. А корпус катера, изготовленный из стекломатов, облицовывают, кроме того, еще и стеклотекстолитом.

Особое место в технике занимают сегодня очень перспективные комбинированные конструкции — трехслойные панели. Внутренний, самый толстый слой в них — это какой-нибудь легкий, пусть даже не очень прочный наполнитель, например пенопласт или пластик в виде пчелиных сот. К нему приклеены два тонких облицовочных листа, изготовленных из стек-

лопластика очень высокой прочности. Роль стеклопластика иногда выполняют фанера или металлы. Трехслойные панели легки, прочны, водостойки и служат хорошей звуко- и тепло-изоляцией. Появившись сравнительно недавно, они быстро завоевали славу первоклассных конструкционных материалов и уже применяются повсеместно: в строительстве и на автомобильном и железнодорожном транспорте, в судостроении и в авиации.

Итак, мы познакомились в общих чертах с принципами получения и с классификацией стеклопластиков. Коснулись по ходу рассказа и некоторых свойств этих материалов. Сравнили, например, прочность на изгиб и на растяжение в зависимости от формы наполнителя. Рассмотрим теперь подробнее эти и другие характеристики нашего материала.

Прочность конструкционного материала, то есть его способность сопротивляться действию растягивающих, сжимающих, изгибающих нагрузок, конечно, показатель очень важный. Но в авиации и в ракетостроении не меньше внимания обращают на легкость. Поэтому два показателя сливаются в один: удельную прочность, которая показывает отношение прочности материала к его весу. Если сравнить по прочности на растяжение сталь одной из лучших марок 30ХГСА и ориентированный стеклопластик, то сталь победит, хотя и с небольшим преимуществом (загляните в таблицу, расположенную ниже).

	Стеклопластик				Сталь	
	стекло- тексто- лит	СВАМ	на основе стекл. тканей	на основе однонапр. жгутов	Ст. 3	30Х ГСА
Предел прочности при растяжении, кг/см^2	3000— 7000	5000— 9500	4000— 8000	12 000— 14 000	3800— 4700	16000
Удельный вес	1,8	1,6—1,7	1,8	1,8	7,8	7,85
Удельная проч- ность, кг/см^2	1700—4000	3000—5800	2200—4400	6700—7800	490—600	2040

Однако если принять в расчет, что сталь почти в четыре с половиной раза тяжелее, то окажется, что удельная прочность стеклопластика, в свою очередь, в 3—4 раза выше. И даже малопрочный на растяжение стеклотекстолит превосходит по удельной прочности сталь специальных марок.

Прочность стеклопластика зависит только от вида стеклонеполнителя, и, в первую очередь, от взаимного расположения в нем волокон или прядей. Если они ориентированы в одном, например продольном, направлении, то предельная прочность на разрыв в этом же направлении может достигать $14\,000\text{ кг/см}^2$, то есть почти столько же, сколько у стали спе-

циальных, особо прочных марок. Но в поперечном направлении она же может оказаться даже ниже прочности чистой смолы. В материале с взаимно перпендикулярным расположением волокон прочность на разрыв окажется вдвое меньше.

Если хотят получить армированный пластик, прочность которого на растяжение в любом направлении одинакова, то волокна в нем стремятся расположить произвольно, как правило, под углом в 45° друг к другу.

В последнем случае полученный стеклопластик обладает, как говорят, изотропными — одинаковыми во всех направлениях свойствами.

Значит, подчеркнем основную мысль сказанного еще раз. Если стремятся получить пластик, особенно прочный на растяжение в каком-то одном направлении, то нужно располагать волокна вдоль действия наибольших усилий. В этом случае достигается самая большая прочность, которую вообще можно ожидать от стеклопластика. Однако тем самым у материала снижается прочность на растяжение в направлении, перпендикулярном ориентации волокон. Таков же характер изменения прочности на поперечный, продольный изгиб и т. д.

В последние годы усиленно развивается производство изделий из пластиков со смешанной структурой стекловолокна: наиболее ответственные части или детали делают из материалов с ориентированной структурой, остальные — с неориентированной.

Жесткость, прочность, «работоспособность» армированных пластиков возрастают по мере того, как в них увеличивается содержание стекла. Но этот процесс не бесконечен. Существует определенная «плотность» упаковки стеклонаполнителя, при которой свойства стеклопластика будут наилучшими. Обычно вес стекла не превышает семи-восьми десятых веса всего изделия (хотя теоретически допускаются все 85%). По объему же содержание стекла может достигать 25—55%.

Мы уже говорили, что в числе важных характеристик конструкционного материала числится его устойчивость к действию воды. На этом качестве стеклопластика сказывается не только состав стеклонаполнителя, но способ изготовления самого материала. Если стеклянные нити надежно защищены смолой, то им не страшна вода. Да, впрочем, не только вода, а и агрессивные химические вещества. И, наоборот, если стеклянные волокна достигают поверхности, то быстрое их разрушение неминуемо.

Мы уже не раз говорили о высокой теплостойкости некоторых типов пластиков. От чего зависит это их свойство? Поскольку прочность стекла практически не меняется при нагревании до температуры 350° , то это свойство стеклопластиков определяется исключительно типом смолы. Уже известен целый ряд смол, способных пережить сильное нагревание, и

работы в этой области непрерывно расширяются. Новые системы связующих для стеклопластиков включают сейчас кремнийорганические и фенольные смолы, полиэфирные сетчатой структуры и керамические сплавы.

Не так давно ученым удалось синтезировать несколько неорганических полимеров, а применив керамику вместо стекла, они смогли повысить теплостойкость и самих армирующих материалов.

При низких температурах до -50° прочность стеклопластиков меняется мало, в отдельных случаях она даже слегка повышается. Упругость же остается практически неизменной.

А от чего зависит «выносливость» нашего материала, то есть способность его выдерживать разного рода нагрузки в течение очень большого времени?

В первую очередь, от вида армировки, ее направления по отношению к действующим нагрузкам и от свойств (текучести) синтетической смолы. А также от того, насколько сильна связь между стеклом и смолой. Напрашивается предположение, что длительная прочность на растяжение стеклопластиков с параллельной армировкой должна быть значительно выше, чем длительная прочность их на сжатие и на изгиб. В действительности так и оказалось.

Явления, происходящие в толще стеклопластиков под действием длительной нагрузки, можно продемонстрировать на таком примере. Если взять сухой пучок стеклянных волокон и подвесить к нему очень тяжелую гирию, то мы увидим, что натяжение волокон в пучке неодинаково, ибо невозможно добиться строгой их параллельности. Одни волокна совсем не работают, нагрузка на них равна нулю, у других она близка к пределу прочности. Если привязать еще одну гирию, то волокна, которые уже были близки к пределу прочности, разрываются, а значит, повышается нагрузка на остальные волокна. Вот еще разорвалось несколько волокон, еще и еще... И так до разрушения всего пучка. Таким образом, внезапного разрыва не наблюдается, разрушение происходит постепенно.

По сравнению с металлами модуль упругости (или, иначе говоря, способность материала к восстановлению прежней формы после снятия нагрузки) у стеклопластиков невелик: он намного ниже, чем у высококачественной стали; однако в последнее время созданы стеклопластики, которые и по модулю упругости не уступают некоторым металлам, например алюминию.

Так как модуль упругости у стеклопластиков, к сожалению, невелик, то крупногабаритные изделия из этого материала порой существенно меняют свою форму. Например, диаметр контейнера из стеклопластика при заполнении каким-нибудь грузом может увеличиться на 25 мм. Этого недостатка можно избежать, если затянуть контейнер в «корсет» из стального

троса. Изделиям из стеклопластиков придают необходимую жесткость и с помощью трехслойных панелей.

Как известно, материалы с низким модулем упругости обладают одновременно и другим свойством, нередко весьма ценным — высокой удельной работой деформации. Иными словами, стеклопластик пружинит в 20 раз лучше «пружинистой» рессорной стали. Так что недостаток материала здесь оборачивается его преимуществом. Прodelывали такие опыты: с большой высоты сбрасывали с парашютом различное снаряжение, например пишущие машинки, упакованные в стальные и стеклопластиковые футляры. Машинки в упаковке из пластика пострадали от удара о землю гораздо меньше. Проводили и другой эксперимент. Автомобили с кузовами из металла и стеклопластиков сбрасывали под откос. Металлоконструкция разбивалась вдребезги. Зато во втором случае машина почти не пострадала.

Чем объяснить результаты этих опытов? Дело тут в том, что энергия удара в значительной степени поглощалась самим стеклопластиком, то есть кузов из этого материала «пружинил»: сначала сжимался, а потом снова принимал прежнюю форму. Вот почему автомобили, лодки, катера и другие изделия из стеклопластиков надежнее стальных при ударах и авариях.

Стеклопластики отлично противостоят и ударным нагрузкам. Был проведен такой опыт. На одинаковые по размерам (70×70 см) пластины из различных конструкционных материалов бросали груз весом 61 кг. В результате удара пластина из клееной фанеры была совершенно искажена, на стальной и алюминиевой пластинах появились вмятины, стеклопластик в месте удара расслоился и стекловолокно оказалось разорванным. Когда же взяли для испытания трехслойную панель из стеклопластика, то после удара в испытываемом образце образовались лишь трещины в наружном слое, причем только в месте удара, внутренний же слой стеклопластика совершенно не пострадал.

Такая «непробиваемость» может найти себе применение как в «земной» технике безопасности, так и в космической, где существует метеоритная опасность.

С низким модулем упругости стеклопластика связано еще одно ценное свойство материала — большая демпфирующая способность, то есть способность гасить колебания элементов конструкции.

Однако в тех случаях, когда местные нагрузки на поверхность пластика не вызывают его разрушения, действие внешних сил все же не остается без последствий. Если нагрузки и удары, даже более слабые, следуют снова и снова, то изделие начинает разрушаться. Правда, с этим недостатком материа-

ла можно бороться, если защитить поверхность его каким-либо мягким, вязким материалом.

Еще одна разновидность прочности — прочность на истирание. Она зависит от вида применяемых синтетических смол, от типа и количества стеклонаполнителя и от состояния поверхности материала. Естественно, что гладкая и мягкая поверхность истирается меньше, чем шероховатая. Поэтому иногда основную смолу-наполнитель смешивают с другой, менее жесткой. Для повышения прочности на истирание в помощь стеклу и смоле можно также добавлять кварцевый или фарфоровый порошок, тонкий песок и т. д.

Многие, наверное, обращали внимание на то, что изделия из стеклопластика всегда кажутся теплыми на ощупь. И это не случайно. Теплопроводность у этого материала невелика, и поэтому его с такой охотой используют для теплоизоляции в разных конструкциях, например в отсеках танкера, перевозящего сжиженные газы.

О высокой стойкости стеклопластиков к действию химических веществ, особенно кислот, мы уже говорили. Она зависит лишь от типа смолы, потому что само стекло не вступает в контакт с агрессивной средой. Можно рассчитывать, что в будущем химическая стойкость пластиков повысится еще более, если будут применены фторсодержащие полиэфирные смолы. Кстати, сопротивляемость стеклопластика действию химических реагентов зависит от метода и качества его изготовления. Шероховатая поверхность с выступающими стеклянными волокнами не только легче истирается, но и быстрее поддается действию химических веществ.

Заметим, что опасность со стороны химических веществ трудно оценить заранее: взятые порознь, стекло и смола довольно устойчивы к их действию. Но соединенные друг с другом, они могут проявить совершенно иные свойства.

Есть несколько методов, с помощью которых удастся повысить химическую стойкость пластика. Наиболее уязвимый полиэфирный стеклопластик обычно помещают в защитную оболочку из эпоксидных или фенольных смол. Другой способ увеличить сопротивляемость действию кислот, щелочей и агрессивных сред — наложить холст из синтетических (полиэфирных, поливинилхлоридных или полипропиленовых) волокон на поверхность пластика.

Теперь еще об одном виде «соревнования» искусственных пластиков с металлами, из которого пластмасса выходит абсолютным победителем.

Конструктора интересует не только прочность материала, его стойкость к нагрузкам, способность бороться с коррозией. Не менее важен и другой вопрос: легко ли этот материал перерабатывается в изделия, можно ли получить из него конструкцию сложной формы?

С металлами дело обстоит следующим образом: как правило, на завод они поступают в виде стандартных листов и различных профилей — тавровых, швеллерных балок, уголков. Из этих «полуфабрикатов» подбирают отдельные элементы, подвергают их механической обработке, а потом соединяют болтами, заклепками или сваривают. Ну, а если нужно получить изделие сложной формы — корпус судна или, например, яйцеобразной формы контейнер? Здесь приходится применять нестандартное оснащение, что сильно удорожает производство, но другого выхода нет.

А как обстоит дело с пластмассами?

Мы видим совсем иную картину, когда требуется получить изделие сложной формы из этого материала. Нужно сказать, что полимеры здесь победили металл дважды: во-первых, готовое пластмассовое изделие можно получить сразу из сырья, минуя стадию полуфабрикатов; во-вторых, сразу получается изделие требуемой конфигурации, сделанное из «одного куска», а не смонтированное из десятков отдельных деталей. Механическая обработка тут почти не требуется. Важно и то, что конструктор не связан в этом случае никакими стандартами. Он может выбирать для изделия практически любую, самую эффективную форму.

Вот характерный пример, показывающий, как простота получения из стеклопластика изделий сложной формы — его «технологичность», как говорят конструкторы, открыла путь к решению сложной проблемы. На одном крупном металлургическом заводе в Англии часто возникали перебои с подачей электроэнергии. Причина крылась в попадании угольной пыли внутрь электрических генераторов. Эту пыль очень трудно «поймать», приходится ставить на ее пути «ловушки»-отражатели очень сложной формы. Если частице пыли удалось «увильнуть» — ждите дугового разряда, а значит, аварии. Можно было бы установить на каждом генераторе специальные отражатели, но форма их должна была быть столь сложной, что устраивать «защиту» из металла было бы чрезвычайно дорогой затеей. И тут вспомнили о пластмассе. На каждом генераторе установили по восьми стеклопластиковых пылеотражателей сложной формы. Аварии прекратились — пластмассовая защита, весьма дешевая в изготовлении, обеспечила бесперебойную работу генераторов, а следовательно, и всего завода.

Итак, мы убедились, что пластмассы могут успешно соперничать с металлом, деревом и другими материалами. Но значит ли это, что можно заменить только материал, оставив форму детали прежней? Нет, этот путь не ведет к успеху. Конструкция при этом почти всегда оказывается неудачной, а преимущества нового материала во многом обесцениваются. Правильнее было бы разработать другую, наиболее простую и эф-

фективную конструкцию, полностью используя особенности и возможности нового материала.

Конструктор, работающий с пластмассами, получает возможность правильно учитывать неравномерность нагрузки, падающей на изделие. Конструируя, например, какой-нибудь бак, он может постепенно увеличивать толщину его стенок — от крышки ко дну, то есть по направлению возрастания нагрузки.

Устойчивость панели — это тоже проблема, связанная с неравномерностью нагрузки. Ее вынуждены решать конструкторы, работая с любым материалом. При переходе на пластмассу, армированную стеклянным волокном, задача решается просто. Во-первых, толщину панели (стенки) из стеклопластика легко увеличить в направлении возрастающей нагрузки и, во-вторых, материал позволяет получить наиболее выгодную форму поверхности — изогнутую, устойчивую к продольному изгибу.

Все эти преимущества заставляют если не забыть, то, по крайней мере, простить пластмассам их пока что более высокую стоимость по сравнению с металлами.

Еще одна памятка конструктору.

Если он имеет дело с «традиционными» конструкционными материалами, то химический состав этих материалов его обычно не интересует. Например, сталь той или иной марки выбирают, довольствуясь сведениями о ее физико-механических свойствах и рекомендуемой области применения. С пластмассами дело обстоит не так просто. Технические условия на применение стеклопластиков большинства марок пока еще не разработаны. Поэтому конструктору приходится внимательно рассматривать все факторы, которые могут влиять на свойства выбранного им материала. Пользоваться стеклопластиковыми конструкциями как материалом для ответственных, несущих конструкций без серьезного экспериментального исследования просто нельзя.

Есть и другое серьезное обстоятельство, которое связано с трудностью получения большой партии стеклопластика, обладающего абсолютно одинаковыми свойствами. Даже в пределах одной партии отклонение показателей от средних значений составляет порой несколько процентов.

Конечно, перечисленные неприятности — это всего лишь «болезни роста», и по мере развития химической науки и промышленности пластмасс они, безусловно, исчезнут. В недалеком будущем подбирать нужный тип стеклопластика окажется ничуть не труднее, чем сейчас выбрать марку стали или алюминия.

Стеклопластики открывают перед конструктором широчайшие перспективы. Высокая удельная прочность пролагает им дорогу туда, где решающую роль играет малый вес материала, а отличные амортизационные свойства позволяют использовать их в изделиях, где сталь была монополистом — в рес-

сорах, пружинах и цепях. Причем пластмассовые рессоры становятся гораздо легче не только потому, что пластмасса легче стали. Дело в том, что обычно (как говорится, на всякий случай) конструктор тратил материала больше, чем это требовали технические расчеты. И все для того, чтобы повысить запас прочности. Стеклопластик снижает этот, как говорят конструкторы, «коэффициент незнания». Он позволяет добиться желанной цели: тратить на изделие практически расчетное количество материала.

Основные правила конструирования деталей из стеклопластиков таковы: проектировать изделия из минимального числа деталей; выбирать изогнутые поверхности, упрочняя их по кромкам; стремиться к симметричной конструкции — это обойдется дешевле; толщину стенок изменять плавно, избегая острых кромок. Следует также закруглять все углы, чтобы избежать местных перегрузок.

Для стеклопластиков, выполненных на основе стеклоткани и ненаправленного стекловолокна, пригодны расчеты, принятые для изотропных материалов, для пластиков с направленным волокном — методы расчета анизотропных материалов. Правда, эти методы еще плохо разработаны и недостаточно точны.

Нередко в волокнах армировки возникают так называемые «скрытые усилия сдвига», точные величины которых расчетным путем получить пока не удалось. Поэтому при проектировании ответственных конструкций надо прибегать к экспериментальному исследованию опытного образца.

При расчете прочности следует принимать во внимание длительность действия нагрузки, возможность изменения величины и направления ее действия, а также факторы химического воздействия и истирания.

Некоторые свойства пластических материалов легко изменить в нужную сторону. Например, жесткость стеклопластика (величину, обратную упругости) можно повысить, если вводить усиления в виде фланцев, ребер и избегать плоских поверхностей. Но самым надежным решением в этом случае будут трехслойные конструкции. Иногда ищут выход и в увеличении содержания стекловолокна, в применении направленной армировки.

Итак, будем считать, что конструктор выбрал марку стеклопластика, наиболее подходящую для данного изделия по качеству и стоимости. Иначе говоря, определил нужный тип смолы и наполнителей. Теперь материал нужно превратить в изделие соответствующей формы. Как это сделать?

В следующей главе мы и расскажем о методах получения стеклопластиков и изготовления изделий из них.

Стеклопластик обретает форму

В отличие от других конструкционных материалов, в первую очередь металлов, при изготовлении изделий из стеклопластиков, как правило, пользуются не готовым уже пластиком, а его компонентами. Следовательно, процессы получения самого материала и изделий из него обычно совпадают. Например, крупногабаритные сосуды, корпуса судов и т. д. получают в формах, в которые укладываются предварительно пропитанные смолой слои стеклянной ткани или мата. Когда смола затвердевает, из формы вынимают уже готовое изделие. Можно, конечно, получать изделие и из готовых листов стеклопластика, обрабатывая их на токарных и фрезерных станках или в штампах. Процессы обработки стеклопластика легко механизуются. А это позволяет снизить трудоемкость работы и стоимость самих изделий.

В производстве стеклопластика нередко применяют повышенное давление (оно считается высоким, если превышает 10 кг/см^2). Вот как производится этим способом стеклотекстолит или изделие из него. Стеклянную ткань погружают в специальную ванну с жидкой смолой. Смола имеет заданную концентрацию и вязкость. Пропитавшуюся наполнителем ткань сушат и раскраивают, собирают в пакеты и, наконец, прессуют под высоким давлением на многоэтажных гидравлических прессах. Таким же способом можно получить в пресс-формах небольшие детали довольно сложной конфигурации.

К методу низкого давления прибегают, если требуется изготовить крупногабаритное изделие сложной конфигурации. В форму укладывают стеклянную ткань или мат и пропитывают их синтетической смолой. Одновременно с отверждением смолы формируется и само изделие. Можно поступить иначе: подвергнуть уже пропитанные и высушенные листы стеклопластика формовке, а затем окончательно «довести» изделие.

Формование можно вести несколькими способами. Первый из них — метод контактного давления, когда заготовка, то есть пропитанная смолой стеклоткань или мат, укатывается роликом вручную. Этот простой, но малопроизводительный метод применяется для изготовления крупногабаритных изделий, которым не грозят большие нагрузки при эксплуатации.

Другой способ — вакуумный. В этом случае для формования изделия используется разность между атмосферным давлением и внутренним разрежением в установке. Этот способ пригоден для получения лишь небольших партий изделий, так как оборудование в данном случае очень быстро изнашивается; поэтому для серийного производства пригоден метод пресс-камеры, заключающийся в том, что давление на формируемое изделие создается воздухом, паром или водой и пере-

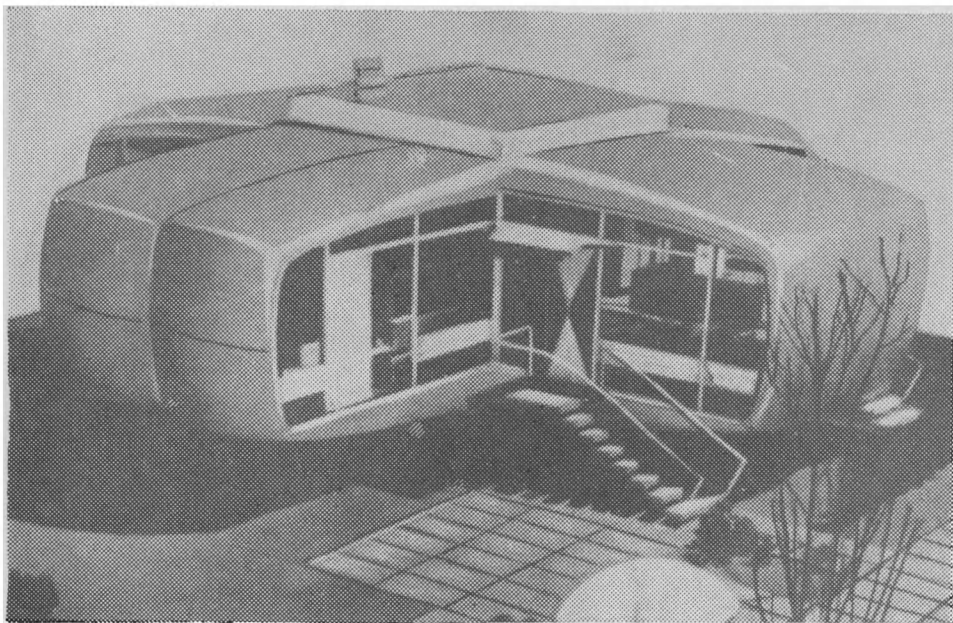
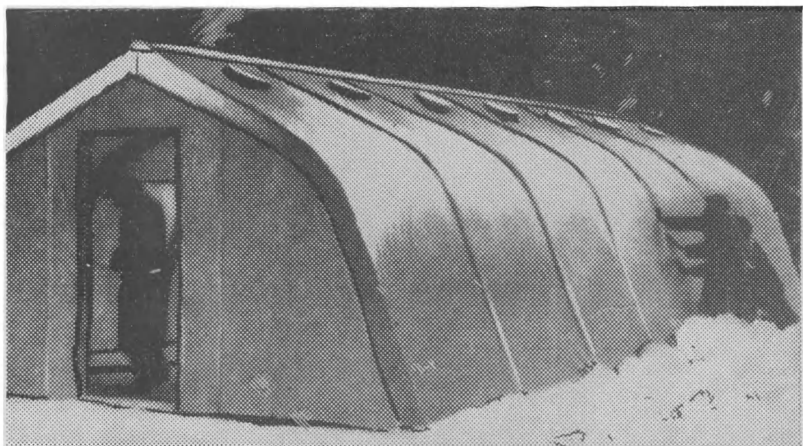


Рис. 1. На фотографии изображен ветеран пластмассового домостроения — так называемый «дом Монсанто». Это выставочный американский экспонат, в котором никогда никто не жил. Зато в нем побывали миллионы посетителей, он выдержал два землетрясения — остался цел, словом, полностью доказал долговечности и надежность нового строительного материала — стеклопластика (см. стр. 33).

Рис. 2. Наша печать неоднократно выступала против строительства роскошных теплиц, стеклянных, на громоздком металлическом каркасе. Слишком дорого обходятся такие сооружения, чтобы в них выращивать огурцы. Решение проблемы: либо покрытые полимерной пленкой легчайшие парниковые рамы, либо стационарные, но облегченного типа прозрачные и небьющиеся теплицы из стеклопластика.



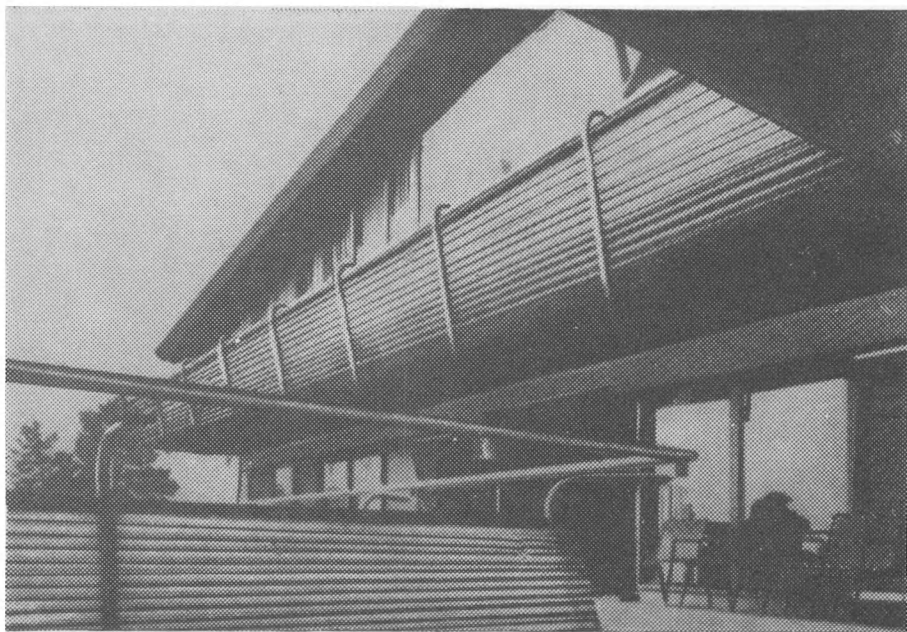
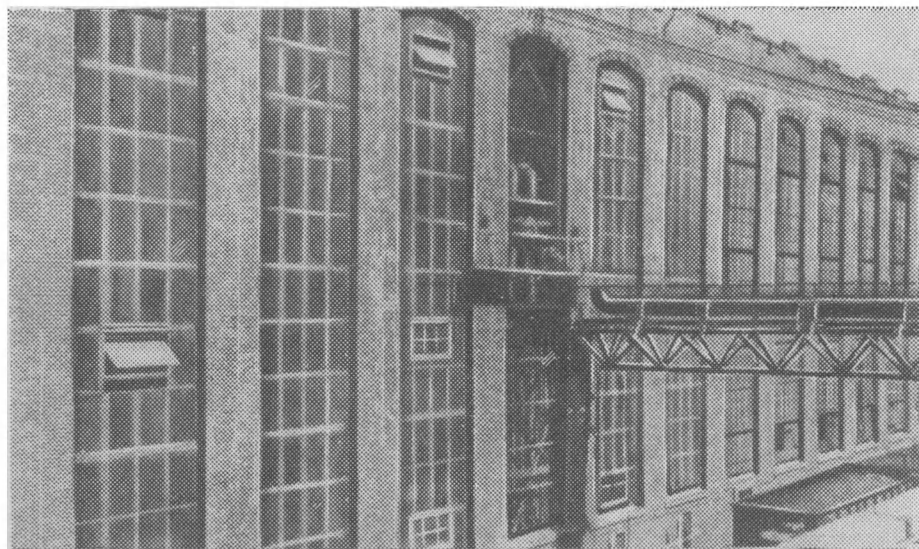


Рис. 3. В строительстве и архитектуре стеклопластик применяется либо в виде гладкого листового материала, из которого собрана, например, теплица (см. рис. 2), либо в виде волнистых плиток и пластин. Из последних создаются красивые навесы, ограждения, веранды, такие, как на этой фотографии. Их можно использовать и в качестве кровельного материала (см. стр. 30).

Рис. 4. На первый взгляд, окна этого заводского здания ничем не отличаются от обычных. Но они выполнены не из стекла, которое легко разбить, и не из дерева, которое легко воспламеняется, а из прочного и негорючего стеклопластика на основе хлорированной смолы.



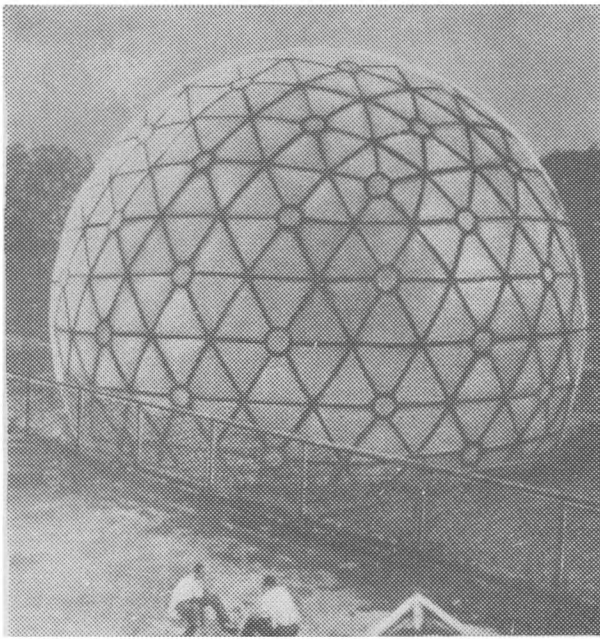
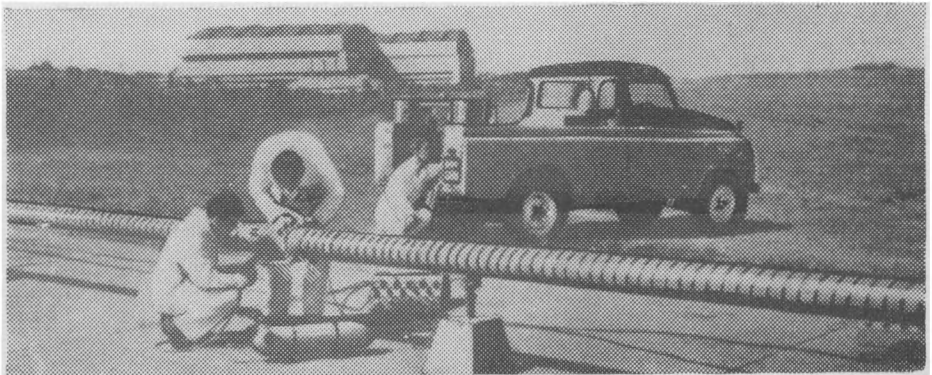


Рис. 5. Здесь показана строительная конструкция из трехслойных панелей с наружными обкладками из стеклопластика. Это геодезический «ангар» для радарной установки, так называемый «радом» (см. стр. 32).

Рис. 6. Прокладку стеклопластикового трубопровода можно легко механизировать. Машина-трубоукладчик, которую вы видите на фотографии, снабжена всем, что требуется для соединения (склеивания) труб из стеклопластика: запасом горячей смолы, сжатым воздухом для ее подачи к месту соединения, даже собственной электрогенераторной установкой. Работая на такой машине, бригада из трех человек в течение часа монтирует 60-метровый трубопровод диаметром 150 миллиметров (см. стр. 34).



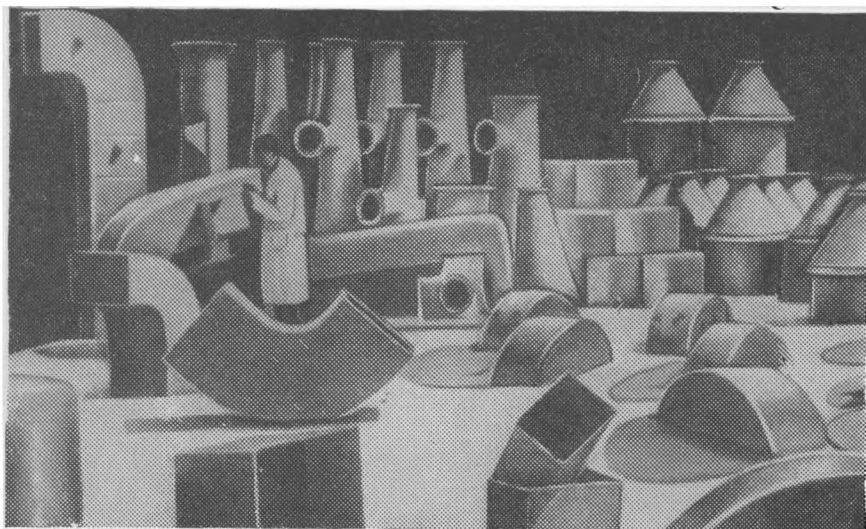
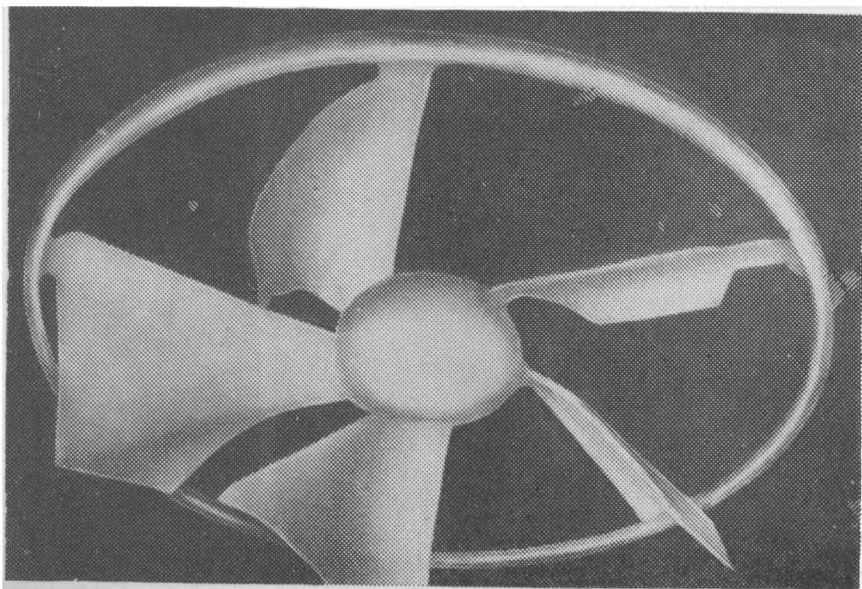


Рис. 7. Из стеклопластиков изготавливается разнообразная арматура для трубопроводов, различные крышки, кожухи для станков, стойкие к коррозии и к царапинам, компактные, высокопрочные и куда более легкие, чем металлические.

Рис. 8. Эта крыльчатка вентилятора сделана из армированного стеклянным волокном полистирола. Материал — новинка даже среди стеклопластиков (см. стр. 12).



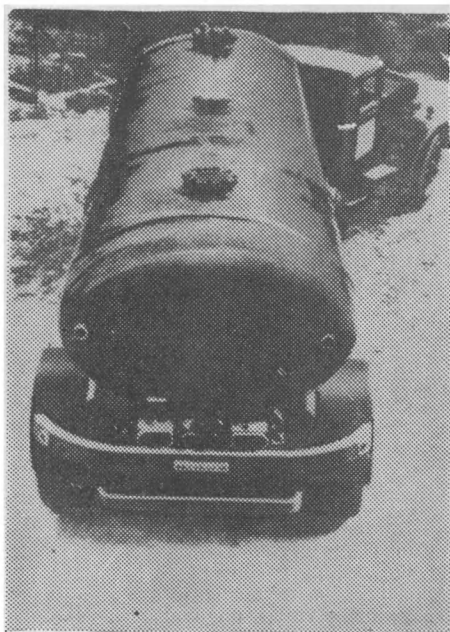
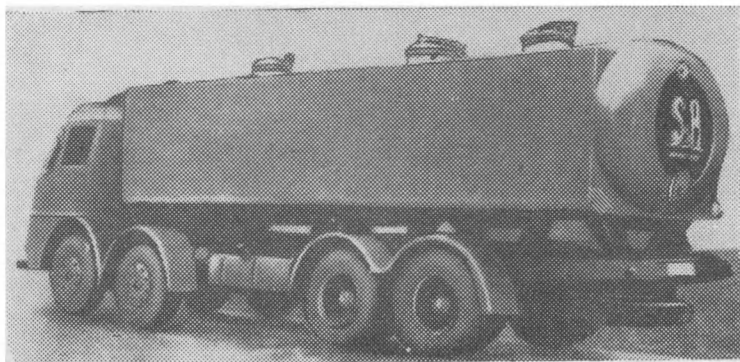


Рис. 9. Здесь изображена автоцистерна для перевозки молока, нефтепродуктов, словом любой жидкости. Сделанная из стеклопластика, она отлично моется, не корродирует, не нуждается в теплоизоляции — температура налитой в нее жидкости не изменится в течение многих часов. Значит, молоко можно перевозить в ней на большое расстояние — оно не скиснет даже в жаркий летний день; а из бензина не улетучатся легко испаряющиеся (самые ценные) фракции.

Рис. 10. На этом рисунке представлена другая автоцистерна из стеклопластика. Она недавно демонстрировалась на Лондонской выставке автомобилей. Автоцистерна вмещает 18 тысяч литров жидкости. За счет замены металла легкой пластмассой полезная емкость ее возросла на полтонны. Конструкторы убеждены, что такая цистерна будет служить втрое дольше металлической.



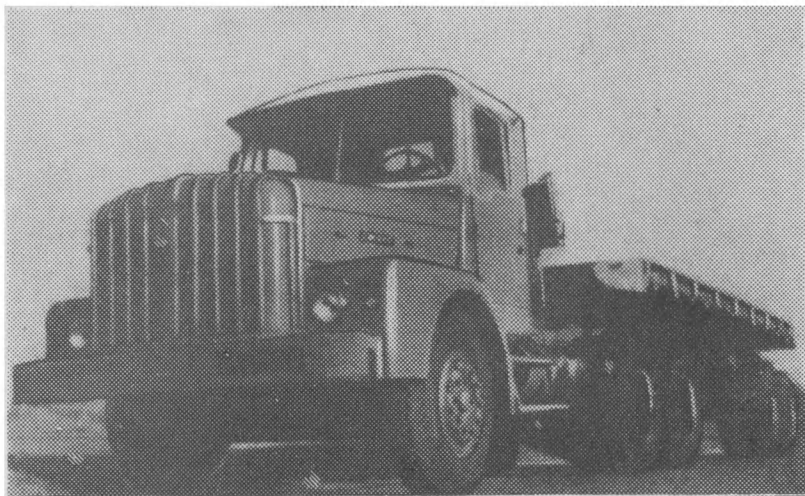


Рис. 11. Стеклопластиковая кабина этой грузовой автомашины, работающей на нефтепромыслах, позволила не только существенно снизить собственный вес машины (а значит, увеличить ее полезную нагрузку), но и улучшить условия труда водителя.

Рис. 12. Автомобилестроители одними из первых начали применять стеклопластики. Легкий обтекаемый кузов — идеал всякого автомобилиста, особенно гонщика. Поэтому первыми освоили новый материал строители гоночных автомашин. Одна из них — «Корветта» (тип «Шевроле») показана в тот момент, когда она сходит с заводского конвейера.



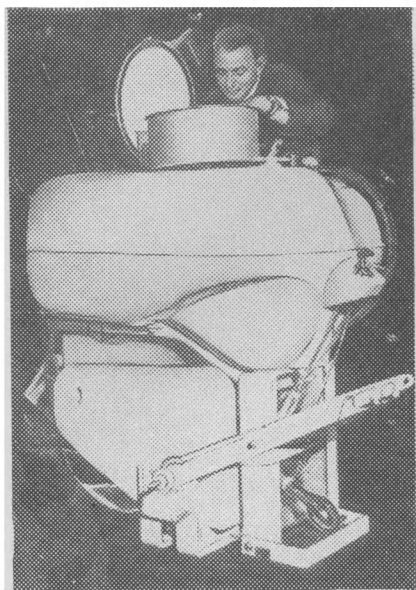


Рис. 13 и 14. Сельскохозяйственный и садовый инвентарь тоже не обходится без стеклопластика. Из этого материала выполнен и опрыскиватель для обработки деревьев и кустарников (рис. 13) и гладкий изящный кожух газонокосилок (рис. 14).



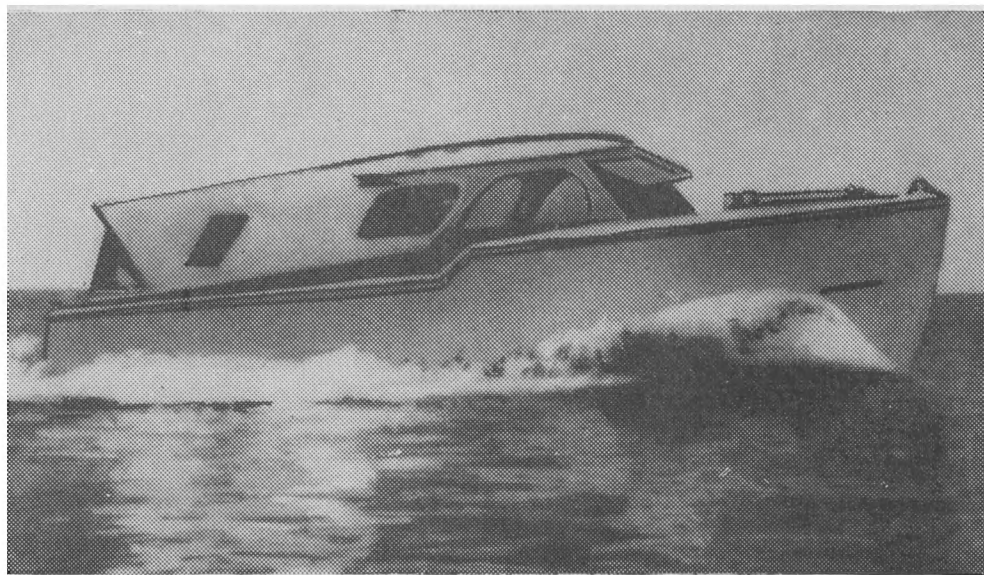


Рис. 15. Одно из наиболее популярных изделий из стеклопластика — моторная лодка длиной 9 метров (может быть и длиннее). О достоинствах стеклопластика как судостроительного материала подробно рассказано на стр. 35—36.

дается на него через эластичный пуансон или матрицу; четвертый — автоклавный способ также используют для серийного получения продукции.

Давление, необходимое для прессования, создают в этом случае с помощью пара или воды в автоклавах, то есть в специальных установках, способных выдержать огромное давление. Автоклавный способ незаменим в производстве ответственных высокопрочных конструкций.

При работе со стеклопластиковыми изделиями часто приходится выбирать метод получения изделия в зависимости от его формы.

Например, листовые материалы, стержни и профили можно получать непрерывным способом, что резко снижает стоимость изделий. Происходит это примерно так. Стеклопластиковая ткань или мат, разматываясь с рулона, попадают в ванну со связующим, затем проходят между отжимными вальками, где с них удаляется излишек смолы, и, наконец, поступают в пресс. Отсюда уже выходят готовые плотные и гладкие листы пластика. Если нужно сделать листы тонкими, то пакет ткани пропускают через барабаны. Чтобы смола быстро и равномерно отвердела, применяют специальное обогревательное устройство.

Технология изготовления полых цилиндрических изделий — труб, патрубков и т. д. — тоже имеет свои особенности. Сначала приходится наматывать стеклянную ткань, пропитанную смолой, или нити на оправку, установленную, к примеру, на токарном станке. После этого «полуфабрикат» помещают в термошкаф, где смола затвердевает.

Для массового производства однотипных труб существует высокопроизводительный намоточный агрегат. Нити, ровница или стеклянные пряжи, перематываясь с бобин, пропитываются связующим, проходят через направляющий узел и наматываются на так называемый дорн, покрытый специальной пленкой (иначе образовавшаяся труба прилипнет к дорну и ее невозможно будет снять). Чтобы труба была крепче, вместе с пряжами наматывают еще слой стеклянной ткани.

В последнее время у нас и за рубежом разработана удачная технология изготовления профильных изделий и труб из стеклопластиков методом непрерывной протяжки. Стеклянные нити, пропущенные через резервуар с полиэфирной смолой, в которую примешаны специальные добавки, например отвердитель, непрерывно навивают на вращающуюся модель. Этот способ весьма прост и экономичен. А полученные трубы отличаются очень высокой прочностью на растяжение в направлении оси, особенно если пластик армирован ориентированным стекложгутом. При кратковременном действии нагрузки они не уступают по прочности изделиям из высоколегированных сталей. Такие трубы отличаются также очень высокой прочностью при осевом сжатии.

На протяжной машине можно изготавливать и стеклопластиковые однонаправленные прутки малого диаметра. Эти прутки тоже отличаются повышенной прочностью: разорвать их труднее, чем стальную канатную проволоку. Сейчас проверяется возможность использовать однонаправленный стеклопластик для «верхняков» в шахтной крепи. Верхняк — это продольный горизонтальный брус или балка, непосредственно поддерживающие кровлю горной выработки. От надежности этой конструкции зависит жизнь людей, и потому в качестве крепежных материалов допускаются только самые прочные.

В производстве изделий из стеклопластика стараются, как правило, избегать лишних промежуточных стадий. Однако некоторые конструкции сложной формы или большие по размерам приходится склеивать из отдельных листов стеклопластика или готовых деталей — «полуфабрикатов». Иногда ведут монтаж из сборных секций, которые соединяются друг с другом болтами. Так получают крупногабаритные баки, цистерны, чаны и другие сосуды.

Самое серьезное затруднение, с которым приходится сталкиваться при создании крупногабаритных сосудов из слоистых стеклопластиков, это, как мы уже говорили, недостаточная жесткость материала, которая вызывает искривление формы сосуда. Как добиться нужной жесткости? Эту проблему можно решить по-разному. Скажем, просто увеличить толщину стенок изделия. Но это значит, что резко увеличится число слоев в материале — оно станет во много раз больше расчетного. Следовательно, повысится стоимость изделия.

А есть и другой путь — занять жесткость у металла. В этих случаях применяют горизонтальные металлические бандажи — пояса, крепко обнимающие сосуд. Если этого недостаточно, нужно добавить еще так называемые вертикальные элементы жесткости. Таким образом, сосуд из стеклопластика окажется как бы в металлической клетке. Но все это опять удорожает работу, увеличивает вес изделия. Кроме того, металлический каркас приходится крепить на сосуде и вдобавок защищать его от коррозии. Так что металлическая клетка, избавляя от одних хлопот, преподносит взамен другие.

Вот почему самым удачным решением было бы использование в крупногабаритных изделиях трехслойных конструкций. Об этом уже шла речь в предыдущих главах. К материалу, помещаемому между двумя наружными слоями стеклопластика, предъявляют следующие требования: ему нужна низкая плотность, максимальная жесткость и высокая прочность на сжатие. Во всем остальном он может иметь самые заурядные механические показатели. Прочность трехслойных панелей на изгиб сильно возрастает с увеличением толщины внутреннего слоя. Но так как внутренний слой очень легок, вес конструкции увеличивается незначительно.

Способ изготовления слоистого стеклопластика на основе полиуретановой смолы отличается от всех описанных здесь способов. Поначалу стеклянную ткань, как обычно, погружают в полиуретановую смолу, затем укладывают ее крест-накрест. Полученную таким образом композицию завертывают в целлофановый лист и помещают между двумя очень тщательно отполированными и нагретыми хромированными стальными пластинами. Весь комплект подвергают прессованию под очень высоким давлением — $75\text{--}80\text{ кг/см}^2$. Через определенное время нагрузка уменьшается, слоистая композиция остается еще некоторое время под невысоким давлением. В таком положении полученный плотный лист охлаждают и, наконец, вынимают из пресса.

Клей против заклепки

Мы уже отмечали, что к механической обработке стеклопластиков прибегают сравнительно редко, ибо изделию стремятся придать готовую форму сразу же, в процессе изготовления. Но есть случаи, когда без такой обработки не обойтись. В таком случае со стеклопластиковыми материалами можно обращаться почти так же, как и с обычными материалами, однако при условии соблюдения некоторых правил.

Вот они.

Смело пробивайте отверстия в стеклопластике. Но если толщина стенок не превышает одного сантиметра и если вы работаете на обычном эксцентриковом прессе, инструмент должен быть очень твердым.

Распилить стеклопластик довольно трудно. Для этого выберите самую твердую циркульную пилу с относительно крупными зубьями. Пила должна работать на средних оборотах. Для распиловки стеклопластиков предложена так называемая вибрационная пила — инструмент круглой формы, совершающий вибрацию относительно своей оси. Этот способ имеет много достоинств: вся пыль остается на месте, воздух на рабочем месте очень чист, а поверхность разреза не требует последующей шлифовки. С помощью ограничителя хода можно с большой точностью отрегулировать глубину прорези в материале. К тому же пила совершенно безопасна. При работе с ней несчастные случаи почти исключены.

Следует избегать сверления отверстий, параллельных слоям пластика. Сверлить рекомендуется инструментом из твердого сплава, охлаждая сверло мыльной эмульсией.

Пластик можно легко обработать на токарном станке, если скорость резания не отличается от принятой для латуни и если вы работаете с резцом, армированным твердым сплавом.

Фрезеровка применяется там, где нужно получить разнообразные вырезы, которые по техническим причинам не удается сделать в процессе изготовления.

А теперь немного о соединении деталей из стеклопластика.

Если нельзя выполнить деталь больших размеров и сложной конфигурации из одного куска, то можно составить ее из сравнительно небольших деталей. Эти детали проще всего, пожалуй, склеить. Иногда полезнее соединить их заклепками или болтами. Склеить детали из стеклопластика можно с помощью тех же самых синтетических смол, в первую очередь эпоксидных и фенольных. Фенольные смолы применяются в тех случаях, если место соединения должно быть особенно теплостойким и влагостойким. Эпоксидные смолы обеспечивают очень прочное сцепление, но они не так стойки к действию влаги и тепла.

Когда соединение должно служить плавным переходом от одной части, скажем цилиндрической, к другой, полезно скосить кромки этих частей. Нужно только очень точно подогнать их поверхности, чтобы они плотно прилегали друг к другу. Для этого перед склеиванием кромки зачищают грубой наждачной бумагой.

Любое изделие время от времени приходится ремонтировать. Если оно изготовлено из стеклопластика, то сделать это сравнительно легко.

В доказательство можно привести забавный случай, о котором не так давно рассказали некоторые западные газеты. Несколько школьников из Южной Родезии решили совершить во время каникул путешествие по реке Замбези. Разместившись в двух катамаранах, составленных из стеклопластиковых каноэ, они отправились в дорогу. Путешественники полагали, что главная опасность подстерегает их у стремнин, порогов и водопадов реки. Но едва они проплыли несколько километров, как разъяренный бегемот напал на одно из каноэ. Легкое суденышко было поднято высоко в воздух. К счастью, никто из пассажиров не пострадал. Но каноэ было почти разрушено, корма начисто снесена, распорота боковая стенка. Однако путешествие прервано не было. С помощью ножа, специального клея и бритвенной кисточки школьники приклеили к лодке новую корму и залатали все пробоины. После этого они благополучно проделали намеченные 750 километров, лишь из предосторожности не перегружая сильно пострадавшее каноэ.

Надо думать, дело повернулось бы совсем иначе, будь лодка изготовлена из металла или дерева.

Пластмассовую деталь довольно просто вернуть к жизни. Все сводится к восстановлению поврежденного участка: трещин, разрывов, в слоистых пластиках — расслоений. Методы ремонта в общих чертах всегда одинаковы. Сперва удаляют слой лака, затем расчищают поврежденное место, краям при-

дают шероховатость. При трещинах или разрывах достаточно пройти по ним трехгранным напильником. Из мата или стеклоткани вырезают нужный кусок и, наложив его на поврежденный участок, пропитывают смолой, если нужно — с добавкой наполнителя, чтобы смола не растекалась. Когда трещина сравнительно велика, то в нее вставляют прокладку, покрытую пленкой. После того как слой смолы отвердеет, отремонтированное место зачищают, шлифуют и лакируют.

Механические соединения стеклопластиковых деталей не очень надежны. Поэтому их обычно комбинируют со склеиванием. Если соединяют тонкие детали, то можно воспользоваться заклепками. Но... будьте осторожны. Заклепка может вызвать расслоение пластика. С обеих ее сторон надо ставить шайбы.

Стеклопластиковыми «заплатами» с успехом заклеивают «прорехи» на стальных трубах и емкостях, пострадавших от коррозии, ими «лечат» даже корпуса судов. Тип синтетической смолы и стеклонаполнителя выбирают в зависимости от условий ремонта.

Полиэфирными смолами можно пользоваться лишь в том случае, если работа идет в закрытой мастерской: они очень быстро испаряются на ветру. Для ремонта ответственных конструкций смолы этого типа не рекомендуются, ибо прочность отвержденной полиэфирной смолы, а значит, и образовавшегося шва колеблется в широких пределах.

Эпоксидные смолы обеспечивают высокую прочность склеенного шва. Приготовить их очень просто (два компонента смешиваются в заданном соотношении), они хорошо прилипают к различным материалам. Если добавить еще, что они сохраняются в течение двух лет даже в очень неблагоприятных условиях и их можно использовать в широком диапазоне температур, то станет ясно, почему эпоксидные смолы применяются для устранения дефектов ответственных несущих конструкций, для ремонта изделий в неблагоприятных внешних условиях.

Подведем некоторые итоги.

Мы познакомились с процессом получения стеклопластиков, знаем, как смола и стекло превращаются в изделие и как ремонтируется этот полимерный материал. Представляем в общих чертах его свойства и области применения. Поговорим теперь поподробнее об использовании конструкционной пластмассы в разных сферах народного хозяйства.

Где их можно встретить?

Отвечаем: изделие из стеклопластиков можно встретить сегодня повсюду, практически во всех областях техники. На воде (корпуса судов, катеров) и под водой (детали подводных

лодок, батискафов), на земле (детали машин, домов, товары массового потребления) и под землей (мы уже говорили о верхняках для шахт) и, наконец, в воздухе (в конструкциях ракет и самолетов). Даже беглое перечисление номенклатуры изделий из стеклопластиков потребовало бы столько места и времени, что нам приходится сознательно ограничивать рамки рассказа и брать для иллюстрации лишь некоторые, самые интересные образцы изделий из этого материала.

Начнем со строительства. В этой сфере конструкционная пластмасса пользуется большим вниманием. Не раз на зарубежных выставках вниманию посетителей предлагались стандартные одноэтажные дома из этого материала. Все чаще применяются стеклопластики и в нашем отечественном строительстве. Многим москвичам знаком пятиэтажный жилой дом из «синтетики» в 4-м Вятском переулке. Стены этого здания состоят из множества слоев с пластмассовой «начинкой». Дом застроен в прошлом году, но скоро он не будет одиноком: по соседству строится серия таких же зданий.

В другом районе столицы, в 10-м квартале Новых Черемушек, возводится еще один дом из полимеров. Только конструкции каркаса и фундамента будут выполнены в нем из традиционного железобетона.

Какие же выгоды сулят стеклопластики строителям? Вот что говорят цифры. Обычный башенный кран может поднять за один раз одну бетонную плиту, а пластмассовых — сразу до десятка. Один квадратный метр стеклопластиковой «стены» обходится сейчас в 35 руб., а в 1970 г. стоимость его снизится до 9—10 руб. Он станет намного дешевле квадратного метра стены из железобетона.

Прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные стеклопластики могут служить хорошим материалом для кровли домов, дач, больниц, детских учреждений, летних павильонов и кафе, спортивных сооружений. Здесь у пластмасс ощутимое преимущество перед железом. Легкие, красивые пластики, не знающие, что такое коррозия, не требующие окраски, легко ремонтируемые — что может быть удобнее такого материала при возведении крыши дома!

Ленинградским научно-исследовательским институтом Академии коммунального хозяйства имени К. Д. Памфилова был проведен строительный эксперимент с применением стеклопластиковой кровли. Из стеклопластика на основе полиэфирной смолы изготовили волнистые листы, подвесной желоб, коньковые элементы, уголки, водосточные воронки, трубы — всего 380 элементов кровли, которую возвели над домом № 3 в Баскаковом переулке. Основной строительной деталью служил прозрачный волнистый лист размером 1400×650 мм с высотой волны 45 мм. Вес листа составил 3,5 кг, а толщина — меньше 3 мм (2,8). Кстати, этот лист настолько прочен, что

свободно выдерживает вес человека! (Кровельный лист из пластмасс может быть и еще тоньше. Крыша ярмарочного павильона в Майами (США) собрана из стеклопластиковых листов толщиной всего 1,5 мм, но она тоже выдерживает нагрузку до 70 кг).

Что же показал опыт ленинградцев? Выяснилось, что стеклопластик — очень удобный в монтаже и надежный в эксплуатации кровельный материал. Все соединения деталей кровли, сделанные с помощью синтетической замазки, непроницаемы для воды. Если понадобится, то ремонт кровли можно производить непосредственно на крыше, наклеивая стеклоткань, покрытую смолой, на поврежденный участок. Можно уверенно сказать, что крыша из стеклопластика будет надежно служить 15—20 лет.

Интересно отметить и другие детали. Так как кровля прозрачна, то на чердаке здания светло в любую погоду, даже зимой, когда на крыше лежит слой снега. В жаркую погоду помещение верхних этажей не нагревается, так как стеклопластик не пропускает тепловые лучи. С применением прозрачных пластмасс отпала необходимость в устройстве слуховых окон. И, наконец, скажем в заключение, что внешний вид у синтетической кровли отличный.

Не стоит, конечно, забывать, что при всех достоинствах у стеклопластика есть и очень уязвимая сторона — он горюч. Но уже предпринимаются попытки создать технологию изготовления несгораемого стеклопластика. И нет сомнения, что работа эта окончится успешно.

Пока мы познакомились только с двумя из множества строительных «профессий» конструкционной пластмассы. Каковы же остальные?

В столице Мексики — Мехико полиэфирные стеклопластики были оригинально использованы в оформлении жилых домов. На фасаде зданий полупрозрачные панели прикрывают низкие окна ванных комнат и балконы, создавая впечатление воздушности и прохлады.

Во многих странах, в том числе и у нас, из пластика делают оконные стекла и переплеты. Очень эффектны громадные — диаметром от одного до двух с половиной метров — светильники из стеклопластиков, созданные английскими конструкторами. Светильники имеют вид блюдец и подвешены под матовым темным потолком в новом торговом центре в Бирмингеме. В больших помещениях они создают равномерное неяркое освещение.

Массовое жилищное строительство в нашей стране превратило санитарную технику едва ли не в главного потребителя металла в строительстве. И все же ванн и умывальников не хватает. Дело не только в недостатке металла, но и в сложности изготовления санитарного оборудования. Чтобы сделать

чугунную эмалированную ванну, требуется затратить не менее шести часов. А на изготовление (в заводских условиях) обыкновенного керамического умывальника уходят целые сутки! В эксплуатации это оборудование не слишком удобно — эмаль и керамика часто покрываются трещинами и выбоинами.

А вот совсем другие данные. Гладкая, легко отмываемая, всегда теплая на ощупь ванна из стеклопластика изготавливается на автоматической линии... всего за 15 минут. Из стеклопластика легко получить умывальники, кухонные мойки, даже целые санитарно-технические кабины со встроенным оборудованием. Весит такая кабина всего 160—180 кг вместо 800—1000 кг у обычной. Нетрудно подсчитать, насколько облегчается транспортировка и монтаж подобной кабины. Внутри она также отделана стеклопластиком — отпадает необходимость в трудоемком процессе облицовки фаянсовой плиткой.

Стеклопластики находят применение не только в строительстве и отделке крупных зданий. Они чрезвычайно удобны и в сравнительно небольших, легких сооружениях.

Одна английская фирма приступила к заводскому изготовлению одно- двух- и трехкомнатных помещений дачного типа из стеклопластика. На бетонном основании устанавливается деревянный каркас из пропитанного антисептическими составами (для предохранения от гниения) дерева, к которому крепятся стеклопластиковые панели — стены. На строительство такой «дачи» требуется всего неделя, и обходится она дешевле обычной. Таким же способом можно построить и гараж.

Ну, а если наш новосел — участник какой-нибудь экспедиции и ему надо срочно обзавестись жильем? Сейчас проходит испытание подходящий для этого случая домик из пенополиуретана, состоящий из сборных эластичных трехслойных панелей. Панели его представляют особый интерес. Между двумя их наружными слоями заключены жидкие химические вещества, разделенные между собой легко разрушающимися перегородками в виде мешков. Каждые два «соседа» при смешивании начинают бурно реагировать с образованием пены, которая вскоре твердеет. Чтобы построить «дом», нужно только собрать конструкцию и разрушить перегородки. Компоненты смешиваются, внутри оболочек образуется пена, и, когда через несколько минут она затвердеет, дом готов. Сооружениям из стеклопластиков такого рода не страшны никакие капризы природы.

А вот другая любопытная конструкция из пластмассы. В Англии всего за четыре месяца построен крупнейший в Европе геодезический «ангар» — сферическое помещение диаметром (по экватору) 21 м и высотой 16 м, рассчитанное на самые тяжелые условия эксплуатации: температуру от -50° до $+80^{\circ}$, ураганный ветер, дующий со скоростью 70 м/сек, и обледенение слоем до 50 мм. Для постройки ангара были исполь-

зованы трехслойные панели из полиэфирных стеклопластиков. Эти панели по прочности не уступают конструкционной стали, но весят впятеро меньше. Вес самой тяжелой из них составляет всего 36 кг — ее легко могут перенести двое рабочих.

Ангары, подобные описанному и к тому же прозрачные для радиоволн, уже используются, как сообщает зарубежная печать, в арктических областях для размещения радарных установок. Подсчеты показывают целесообразность изготовления такого рода ангаров диаметром до 150 м и более.

Еще одно «производственное» помещение. Это манеж для верховой езды площадью 900 м² и высотой 7 м. Прозрачная стеклопластиковая кровля сохраняет естественный дневной свет.

Но вот вопрос: а как долго служит пластмассовая конструкция? Можно ли «предсказать», что будет с домом из стеклопластика через 20 лет? В какой-то степени можно. Во всяком случае, экспериментальный дом в Монсанто (США) — постоянный экспонат выставки — находится в прежнем состоянии, несмотря на то, что он выдержал два сильных землетрясения. Да к тому же за пять лет в нем побывало девять миллионов человек.

А стеклопластиковая телевизионная башня города Вашингтон работает в еще более тяжелых условиях — она установлена на вершине горы. Пока что «жалоб» на нее не было, так что можно не сомневаться — дома из стеклопластика не подведут.

Вот еще примеры использования армированной пластмассы в промышленности и строительстве.

На английских хлебопекарных заводах появились бункеры для муки емкостью по 32 т, изготовленные из стеклопластика. Они легче стальных, к их гладкой поверхности не пристает мука, а температура внутри бункера даже в сильные морозы падает всего на 1,5° за сутки, следовательно, и влага в них не будет конденсироваться. Бункер легко заполнить и выгрузить. Его высота 13,5 м, внутренний диаметр 3 м, вместимость до 48 т.

На немецких промышленных предприятиях начинают использовать градирни, почти целиком изготовленные из полиэфирного стеклопластика. У них достаточно высокая жесткость. Она увеличена за счет сферической поверхности и введения мелких упрочняющих ребер. Градирне из стеклопластика может быть придана любая, наиболее выгодная в эксплуатации форма. А так как она легче по сравнению с градирнями из традиционных материалов, то ее можно без опасений разместить прямо на крыше здания. Тем более, что ремонта она требует не часто. На градирне, как обычно, установлен осевой вентилятор. Он также сделан из эпоксидного стекло-

пластика и работает бесшумно; следовательно, градирню можно строить совсем рядом с жилыми домами.

Заводские трубы из железобетона или стали быстро разрушаются под действием газов. А легко ли их ремонтировать, если высота достигает 80—140 м, т. е. высоты 25—45-этажного дома? Пластмасса и здесь пришла на помощь. Ведь на нее почти не действуют газы, значит, и «болеть» такая труба будет меньше.

Для Волгоградского алюминиевого завода разработан проект экспериментальной вентиляционной трубы диаметром 3 м и высотой 30 м. Ее наружный, несущий слой предполагается выполнить из стеклопластика. Эти эксперименты должны положить начало строительству промышленных вытяжных труб из пластмасс, армированных стекловолокном.

А вот совсем иная область. В качестве бензопроводов на самолетах сейчас используются тонкие трубки из эпоксидного стеклопластика диаметром 12 мм и с толщиной стенки в 0,12 мм.

И все же самое большое количество стеклопластиковых труб потребляет химическая и нефтяная промышленность. Очень важно, что прокладку трубопроводов можно полностью механизировать. Соединяются они очень легко: их просто склеивают, вставляя один конец в другой, расширенный в виде раструба. Эти трубы настолько легки, что один рабочий свободно переносит комплект общей длиной 70 м.

Малый вес позволяет укладывать эти трубы с помощью вертолета. В конце 1963 г. на строительство гидроэлектростанции в Гортоне (Северная Шотландия), расположенной в труднодоступной местности, было доставлено вертолетом 800 пог. м труб из поливинилхлорида, армированного стеклянным волокном. Вертолет поднимал по три трубы длиной по 5,4 м, диаметром 356 мм.

Внутренняя поверхность труб из поливинилхлорида защищена спиральной навивкой из стекловолокна и покрытием из полиэфирной смолы. По стоимости труба равноценна стандартной стальной, но обладает тем преимуществом, что не подвержена ни внутренней, ни внешней коррозии. И действительно, такие трубы хорошо себя показали в самых тяжелых условиях: на нефтепромыслах и в особо коррозионных почвах.

Гладкая внутренняя поверхность пластмассовой трубы противодействует выпадению осадков из перекачиваемой жидкости. Это, пожалуй, в первую очередь относится к парафину, часто встречающемуся в сырой нефти. Запарафинирование нефтяной скважины — серьезная неприятность для нефтяника.

Безотказно работающие, не нуждающиеся ни в периодической очистке, ни в регулярной замене пластмассовые трубопроводы создают реальные условия для перехода технологии

нефтедобычи и нефтепереработки на новую, высшую ступень — к полной автоматизации.

В угольных шахтах трубы из стеклопластиков используют для вентиляции. Здесь ценно то, что они не прогибаются, поэтому поперечное сечение их всегда постоянно. Значит, в шахту всегда поступает одинаковое количество воздуха. Наконец, и это тоже весьма важно, пластик плохо проводит тепло. Значит, можно в жаркий забой нагнетать холодный воздух, что улучшает условия труда шахтеров.

Теперь о применении стеклопластиков на транспорте.

Преимущества этого материала для транспортного машиностроения доказываются сведениями об его распространении. В Англии, по предварительным данным, в 1963 г. поступило на транспорт 5500 тонн стеклопластиков, вытеснив алюминий, дерево, иногда даже сталь.

Согласно расчетам американских специалистов, к 1965 г. потребление стеклопластиков на транспорте возрастет более чем вдвое по сравнению с 1960 г., причем первое место среди изделий займут кузова автомобилей. Есть интересные факты и сегодняшнего дня.

В Англии выпущен самосвал с откидным кузовом, изготовленным из шестислойного стеклопластика. Он предназначен для перевозки 15 т высококоррозионных веществ — химических удобрений и т. п. Его достоинства перед обычным кузовом: высокая стойкость по отношению к коррозии и износу, меньший вес (8,2 т вместо 9,45 т), что увеличивает полезную нагрузку, наконец, бесшумная работа.

Автомобильный кузов из стеклопластика особенно удобен, если требуется переоборудовать машину, дать ей форму или объем, отличающиеся от стандартных.

Технологический процесс изготовления кузовов автомобилей отличается исключительной простотой и дешевизной. В основу его положен метод формования элементов конструкции в нагреваемой форме, сделанной по макету наружной поверхности кузова.

А вот железнодорожный вагон из армированной пластмассы: его кузов, стены, крыша и пол сделаны из стеклопластика. Легкий, удобный и, можно сказать, изящный, он намного легче цельнометаллического.

В ближайшее время будет выпущена опытная партия таких вагонов. Они спроектированы в уральском отделении Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта.

Если говорить об использовании стеклопластиков в других видах транспорта, например в судостроении, то нужно отметить, что начало ему было положено в СССР. В 1939 г. в нашей стране был спущен на воду глиссер «Экспресс», у которого наружная обшивка обоих корпусов была изготовлена из

текстолита горячего формования. Однако прошло почти 15 лет, пока ленинградские судостроители Е. И. Юхнин и Я. И. Рабинович обратили внимание на стеклопластик как перспективный материал для судостроения. В 1957 г. делаются первые опыты по изготовлению из него самостоятельных крупногабаритных конструкций. И в этом же году Московским научно-исследовательским институтом пластических масс были выпущены корпуса нескольких понтонов из стеклопластика.

Затем был спущен на воду двухвинтовой теплоход грузоподъемностью 10 т с двумя двигателями по 165 л. с. Судно развивает скорость около 14 узлов или 7,5 узла при буксировании стотонной баржи. Корпус теплохода целиком сделан из пластика, армированного стеклотканью.

В настоящее время за рубежом освоено изготовление лишь небольших судов из стеклопластика; длина самого большого из них не превышает 50 м. У нас же опробованы технологические возможности секционной сборки корпуса судов водоизмещением до 500 т. Разработан проект речного танкера грузоподъемностью 100 т с корпусом из стеклопластика. Заметим, кстати, что из стеклопластика изготавлиются и разнообразные изделия судового назначения: спасательные плоты на 6, 12 и 18 человек, спасательные круги, шлюпки, иллюминаторы, межкаютные перегородки, детали надстроек больших судов, даже такие ответственные элементы, как гребные винты.

И самый быстрый вид «транспорта» — ракетный — сейчас невозможно представить без стеклопластика. И не только из-за его высокой прочности при малом весе. Какой еще материал будет в состоянии работать много часов при поистине космической температуре: 240° ниже нуля? В ракетных двигателях за рубежом успешно работают однонаправленные стеклопластики, армированные стеклянными жгутами. Общая длина стеклянной армировки в таких двигателях равна 430 тыс. км — примерно расстоянию от Земли до Луны.

Оценила возможности нового материала и ядерная техника. В Англии выпущен вакуумный бак для протон-синхротрона. Он имеет круглую форму, напоминающую бублик диаметром 50 м и поперечным сечением 200×25 см. Здесь к конструкционному материалу помимо обычных требований предъявляется ряд специальных: низкая газопроницаемость, высокая радиационная стойкость и низкая электропроводность. Эпоксидный стеклопластик выдержал этот новый экзамен на «отлично».

А какое изделие из стеклопластика самое массовое? Как ни странно, обыкновенное удище. В США выпускается 30 млн. стеклопластиковых заготовок — сплошных и трубчатых — для удищ. 80% удочек изготавливается из этого материала.

Стеклопластики вообще не обидели любителей спорта. Дети могут совершать прогулки по прудам в легких колесных

пароходах. Подростут — к их услугам лодочки из стеклопластика. Такое суденышко подросток легко поднимает одной рукой. Для взрослых любителей водного спорта — яхты, катеры, шлюпки, скутеры, катамараны — все из стеклопластика.

Крупнейший в Америке парусный катамаран на 66 пассажиров, рассчитанный на десятидневные рейсы у берегов Флориды, имеет кузов из полиэфирного стеклопластика длиной 46 м. Катамаран движется под парусом из огнестойкой синтетической ткани — дакрона или с помощью дизельных двигателей. Кстати, по прогнозам американских экспертов, именно лодки будут к 1965 г. основным потребителем стеклопластиков. Самые последние сведения как будто подтверждают этот прогноз.

С 1 по 11 января 1964 г. в Лондоне работала 10-я ежегодная международная выставка лодок; 30% всех экспонатов, т. е. почти каждая третья лодка, были выполнены из стеклопластика. Всего же были представлены 172 лодки из стеклопластика. Как всегда, и здесь, на выставке, отмечались высокие гидродинамические свойства материала и малый вес изделия. Последнее обстоятельство позволяет использовать двигатели невысокой мощности. Так, 10-сильный двигатель поднимает над водой и приводит в движение глиссер длиной 4 м.

Не успела закрыться лондонская выставка, как в Париже открылась другая — третья международная выставка пляжного снаряжения. Здесь стеклопластиковые лодки составили уже 40% от общего количества, оттеснив деревянные на второе, а алюминиевые — на третье место. Всеобщее внимание привлекла 7,5-метровая шлюпка «Альсион», практически вся выполненная из стеклопластика — от трехслойных стенок корпуса толщиной 25—40 мм до балластных баков. Злые языки говорили, что владелец использовал стеклопластик даже там, где он вовсе не нужен. Но все, однако, сошлось на одном — по ходовым качествам это выдающийся образец малого судостроения.

Советскими судостроителями освоен выпуск спасательных шлюпок трехслойной конструкции. Внутреннее пространство между стеклопластиковыми оболочками заполнено пенопластом, что обеспечивает непотопляемость шлюпки. По заказу Севморпути выпущена партия шлюпок-«ледянок», отлично прошедших испытания.

Надо сказать, что с помощью пластика делаются не только лодки и пароходы, смело бороздящие просторы морей и озер, но даже и... сами озера. Правда, по озерам, которые плещутся в пластмассовых берегах, могут курсировать лишь игрушечные корабли, но купаться в этих озерах могут и дети, и взрослые. В Англии сконструирован небольшой плавательный бассейн овальной формы. Длина его 9 м, а глубина 1—1,5 м. За несколько месяцев было раскуплено 400 таких бассейнов. Ана-

логичное «карманное озеро» сконструировано и выпускается в США.

На выставке спортивного инвентаря в Кельне демонстрировались водяные лыжи из поропластового полистирола с покрытием из стеклопластика длиной 2,25 м. Такова же конструкция поплавков на лыжных палках.

К услугам любителей зимнего спорта — санки, хоккейные клюшки. Вне конкуренции стеклопластик как материал для изготовления лыж; по эластичности и прочности он намного превосходит дерево. Испытания, проведенные в суровых условиях, доказали высокие достоинства таких лыж.

Не забыты и другие спортивные «профессии». Лук со стрелами, шест для прыжков из стеклопластика, непревзойденный по своим пружинящим свойствам, появились не так давно и сразу же завоевали всеобщее признание.

Уже неоднократно на международных соревнованиях искусственных «птиц» побеждали стеклопластиковые планеры.

Недавно была построена новая спортивная модель планера «Скайларк-4». Длина его фюзеляжа 18 м. Выполнен он из стеклопластиков и полиэфирной смолы. На пропитанные смолой стеклянные маты уложен слой стеклянной ткани, также пропитанной смолой. Формование фюзеляжа осуществляется в гипсовой форме.

Из стеклопластика изготавливаются также защитные шлемы для людей самых разных профессий — летчиков, пожарных, шахтеров. Недавно сообщалось, что защитный шлем из стеклопластика спас жизнь французскому рабочему, занятому в котловане. Прямо на голову ему свалилась глыба земли. Шлем потрескался, но полностью сохранил свою форму, даже «воздушная подушка» в 35 мм не исчезла. Это объясняется не столько прочностью, сколько упругими, пружинящими свойствами стеклопластика, о которых мы уже говорили.

На машиностроительных заводах применяются предохранительные фартуки из стеклопластика, армированного стеклотканью и содержащего 25% смолы. Они надежно защищают рабочих, занятых на металлообрабатывающих, например фрезерных, станках от быстро летящих кусочков металла. Такой фартук весом менее 1,4 кг и толщиной 3 мм не пробивает даже пуля калибра 10 мм, выпущенная с расстояния 2,4 м.

Для всемирной выставки 1964 г. в Нью-Йорке строится причал на 2000 судов. Этот причал — один из крупнейших в мире. Все плавучие сооружения тут поддерживаются понтонами из стеклопластика. Можно представить, каким окажется в этом случае расход конструкционной пластмассы. А вот на изготовление ампулы из нейлона, армированного стекловолокном, требуется в миллионы раз меньше материала. Это — самая маленькая деталь из стеклопластика. Она применяется в диагностике рака.

Мы не могли бы убедительно доказать, что стеклопластик применяется буквально везде, если бы не затронули такую область человеческой деятельности, как искусство.

Синтетические смолы можно окрасить в любой цвет и оттенок. Можно придать им различную степень прозрачности. В руках художника — это интереснейший материал, одинаково пригодный и для монументальной живописи, и в качестве витражей, настенной росписи, и даже для создания скульптуры. На художественных выставках экспонируется «классическая» скульптура из полиэфирного стеклопластика.

Один известный скульптор так отзывался о стеклопластике: «Это идеальный материал. Если я снял слишком много, то могу «прилепить» недостающий кусок. А если скульптура из дерева или камня (мрамора), то начинай все сначала». Он отметил также, что этот материал можно пилить, строгать, резать, сверлить, т. е. делать с ним все, что будет нужно скульптору.

Многие зрители, видевшие фильм «Человек-амфибия», наверное, обратили внимание, как естественно выглядел в картине пейзаж морского дна. А ведь обстановка некоторых «мизансцен», скажем кораллы, родились не на дне моря, а в лаборатории из того же вездесущего материала — стеклопластика.

И в заключение несколько примеров довольно необычного использования стеклопластиков.

Скоро буквально каждый москвич будет сталкиваться с этим материалом. Дело в том, что в каждом вагоне метрополитена сейчас устанавливаются десятки метров хромоникелевых труб — поручней. Рационализаторы депо Калужское предложили заменить их стеклопластиковыми. В течение одного года это даст экономию в 40 тыс. руб.

На ежегодной выставке стран Британского содружества наций 1962 г. в австралийском павильоне была представлена географическая карта Австралии диаметром 2,7 м, выполненная из слоистого стеклопластика. Там же демонстрировались параболические зеркала из стеклопластика диаметром 914 мм. У этих зеркал «от рождения» настолько гладкая поверхность, что она не нуждается в специальной полировке.

Иногда стеклопластики возвращаются к «первой» профессии пластмасс и снова выполняют роль заменителей.

Англичане свято хранят традицию — в комнате должен быть камин. Без него, по их мнению, нет уюта. Но современной квартире камин ни к чему. Есть центральное отопление, да и свободного места не так уже много. Некоторые фирмы помогли решить эту проблему весьма просто. Создали «камин», по внешнему виду не отличающийся от мраморного, даже с «очагом», где тлеют поленья, и все это весит меньше 10 кг и занимает мало места.

Поговорим об эффективности материала

Наконец, нам осталось рассмотреть проблему технико-экономической эффективности применения стеклопластиков. Иначе говоря, надо ответить на вопрос, выгодно ли заменять этим новым материалом наши традиционные металл, бетон, дерево.

Дать тут ответ не совсем легко. Ведь новый материал на первых порах всегда обходится дороже. Металлы, железобетон и другие «ветераны» уже прошли длительный путь развития, они проверены и теперь хорошо знакомы нам. Стоимость изделий из них можно с большой степенью точности подсчитать заранее. Иное дело пластмассы, в том числе стеклопластики. Помимо себестоимости самого изделия надо учитывать капитальные затраты на создание соответствующих производственных мощностей, расходы по транспортировке, по эксплуатации в отраслях-потребителях. Приходится считаться и с факторами, которые трудно учесть: облегчение условий труда рабочих, удобство обслуживания, сокращение сроков изготовления, экономия дефицитных материалов. Иной раз важнее долговечность и надежность оборудования в эксплуатации нежели его отпускная цена: простой целой автоматической линии в результате аварии одной детали оборудования может обойтись слишком дорого. Пока что таких всеобъемлющих расчетов для стеклопластиков нет ни у нас, ни за границей.

Однако сейчас уже накоплен большой практический материал, позволяющий сделать некоторые расчеты и выводы.

Прежде всего можно сказать твердо, что тонна стеклопластика, как мы уже упоминали, заменяет в среднем 3 т стального проката. А некоторые ученые считают, что он способен заменить даже 3,5 т стали. Стоимость исходных веществ в промышленности полимеров, как правило, выше, зато трудоемкость и стоимость изготовления ниже, чем при выпуске аналогичных изделий из металла. Так что более высокая себестоимость изделия часто компенсируется иными положительными факторами, и в первую очередь снижением веса изделия при сохранении прочности.

Килограмм полиэфирного стеклопластика в несколько раз дороже стали, стоимость эпоксидного еще выше. Но ведь стеклопластик почти во столько же раз легче стали, значит из одного килограмма равноценных изделий можно получить гораздо больше.

Приведем такой пример. Вагонетка со стальным кузовом, применяемая в угольной промышленности, стоит 40—50 руб. Та же вагонетка со стеклопластиковым кузовом — 55—65 руб. Но первая весит 193 кг, вторая — втрое легче. Это снижение

веса позволит уменьшить расход электроэнергии при перемещении груженных вагонеток на одну десятую и при подаче порожних в 2—3 раза. Кроме того, стальная вагонетка служит всего шесть месяцев, вторая — втрое дольше. Поэтому каждая вагонетка с кузовом из стеклопластика обеспечит экономию в 25—35 руб. в год.

Экономически столь же целесообразна и замена некоторых стальных деталей конвейеров. С помощью стеклопластиков можно снизить вес конвейера со 100 до 36—40 кг, что, например, в условиях маломощных пластов Донбасса, где к тому же приходится переносить конвейер вручную, имеет неоценимое значение. Не случайно в 1963 г. 20% всего выпуска стеклопластиков в Англии пошло на замену стали в угольной, металлургической, химической промышленности и т. д. Только в химической промышленности трубы и баки из стеклопластика позволили сэкономить тысячу тонн нержавеющей стали.

Да, легкость стеклопластиков в сочетании с высокой прочностью — важнейший их «аргумент» в соревновании с другими материалами. На железнодорожном транспорте это открывает стеклопластикам «зеленую улицу». Снижение веса в подвижном составе означает повышение полезной грузоподъемности, а стало быть, увеличение оборачиваемости вагонов, сокращение расходов на топливо и электроэнергию.

Перевод железных дорог Советского Союза на электрическую тягу идет быстрыми темпами. В связи с этим понадобится громадное количество опор для линий электропередач. Как известно, они подвержены сильному выветриванию, действию корродирующих факторов (железобетонные и металлические опоры) и гниению (деревянные).

Чтобы избежать указанных недостатков, в США на ряде воздушных электрических линий низкого и высокого напряжения установлены опоры из пластмассы, армированной стеклянным волокном. Такие опоры в 5 раз легче деревянных. Прочность их приближается к прочности лучших сортов стали. Они обладают большой влагостойкостью, не подвержены коррозии и гниению. Опора высотой 10 м и диаметром 280 мм весит всего 65 кг. Такие опоры выпускаются стандартными в отличие от деревянных столбов, прочность которых зависит от многих факторов: от плотности древесины, действия влаги и солнца и т. д. Всесторонние испытания опор из пластмассы в течение года в промышленных условиях дали хорошие результаты. Они дороже деревянных, но ожидается, что при массовом изготовлении их стоимость должна снизиться.

В Виннипеге (Канада) поднялись высоковольтные опоры из полиэфирного стеклопластика — «жирафы» высотой 15 м, которые дешевле обычных опор и могут называться абсолютными электроизоляторами: при напряжении постоянного тока в 500 тыс. в ток утечки равен всего лишь 0,4 мка.

Сотрудники Всесоюзного института «Гидропроект» разработали техническую документацию на так называемую парусную плотину из стеклопластика. Расчеты показывают, что даже при современных ценах на пластмассы затраты на эту плотину едва ли превысят расходы, которые требует сооружение наиболее экономичных типов бетонных плотин. Дело в том, что количество материалов, заложенных в плотинах-оболочках чуть ли не в сотни раз меньше, чем в бетонных. Одна из таких плотин высотой 3,5—4 м строится неподалеку от города Солнечногорска.

Бесспорен экономический эффект от снижения капиталовложений в производственные мощности при замене стали, алюминия и других материалов пластиками. По предварительным подсчетам, 1 т стеклопластиков требует примерно в 1,5 раза меньше затрат, чем 1 т стали, а также значительно меньше, чем 1 т алюминия, меди и других металлов.

По данным одной американской фирмы, применение инструмента из стеклопластика снизило стоимость изготавливаемых изделий на 16—17%. Штампы из эпоксидных смол, усиленных стеклянным волокном, обошлись другой американской фирме, использующей их для выпуска листовой стали, в 30 тыс. долларов, тогда как металлические штампы того же назначения стоят 110 тыс. долларов. В автомобильной промышленности США эпоксидные штампы, пуансоны и волочильные доски приобрели широкое распространение: за три года количество их возросло с 5 до 25%. Подобный рост наблюдается также в самолетостроении и в смежных областях промышленности.

На один американский легковой автомобиль приходится 1,4—1,8 кг стеклопластиков. По сведениям фирмы «Дженерал Моторс», с переходом на выпуск спортивного автомобиля «Корветта» с кузовом из стеклопластика экономия достигла четырех миллионов долларов. Такова разница в капиталовложениях: 500 тыс. долларов на изготовление кузовов из стеклопластика и 4,5 млн. — из листовой стали.

Стеклопластик вытесняет сталь даже из самых обжитых ею областей. До самого последнего времени болты из стали считались самыми надежными. И вот стало известно: в Англии выдан патент на производство болтов из стеклопластика. В Японии железнодорожные рельсы крепятся к бетонному основанию стеклопластиковыми костылями и накладками.

Таким образом, хотя в настоящее время и не ясны все стороны экономики стеклопластиков, все же напрашивается вывод, что новые материалы вполне конкурентоспособны. А уже имеющийся опыт применения стеклопластиков в строительстве, в различных отраслях промышленности говорит о том, что они постепенно становятся и дешевле металлов. По последним американским данным, стоимость основных материалов, используемых в автомобилестроении, претерпела такие измене-

ния за последние десять лет: сталь и алюминий подорожали на 35%, стеклопластик подешевел на столько же и ожидается, что в ближайшие два года его стоимость снизится еще на 20%.

Предварительные подсчеты показывают, что в будущем при условии массового производства цена на полиэфирные стеклопластики снизится до 1 руб. — 1 руб. 40 коп. за килограмм, а стеклопластика типа СВМ — до 1 руб. 40 коп. — 1 руб. 60 коп. Это сделает их значительно более доступными, чем сейчас.

Семилетним планом развития народного хозяйства для производства стеклопластиков предусматривается создание новых мощностей по выпуску стеклянного волокна и синтетических смол. А это значит, что стоимость стеклопластиков будет неуклонно снижаться.

Это подтверждается следующими фактами. Стоимость полиэфирной смолы за период 1959—1962 гг. у нас снизилась в 10 раз. Некоторые марки полиэфирных смол и стеклянного жгута подешевели более чем вдвое в течение одного только 1962 г.

Необходимо еще больше увеличивать производственные мощности, вводить в действие высокопроизводительные агрегаты непрерывного формования и прессования стеклопластиков, изыскивать способы сокращения сроков отверждения смолы и увеличения процентного содержания стеклонаполнителя. Нужна стандартизация смол и стеклонаполнителей. Все это приведет к удешевлению пластика. Стоимость стеклопластиков можно также существенно уменьшить, добавляя по возможности дешевые наполнители: мел, инфузорную землю, цемент, стеклянный порошок...

Взгляд в будущее

Когда шла работа над этой брошюрой, вышел номер одного заграничного журнала, где помещена такая фотография. Улыбающийся мужчина держит на вытянутых руках... кузов настоящего автомобиля. Это не новоявленный чемпион мира по поднятию тяжестей, не соперник Юрия Власова, а самый обычный человек. Можно сказать, что в данном случае в роли чемпиона выступает еще один новый пластик, из которого изготовлен кузов машины. Ему предсказывают блестящее будущее. А пока материал даже не имеет собственного имени. Известно, что относится он к типу акрилонитрилбутадиенстиролов и, будучи термопластом, обладает идеальными технологическими свойствами. Но главное — это легкость: он в 14 раз легче стали, в пять раз легче алюминия и в три раза — стеклопластика. За счет этого он по своей удельной прочности превосходит

указанные материалы. Но пока он обгоняет их и по стоимости. Однако мы знаем, что у пластиков этот недостаток временный, до тех пор пока не будет налажено массовое производство.

Новый пластик — фирменное название «Икспэндид Роялайт» (буквально «вспененный Роялайт») — уже делает первые шаги на пути практического применения и сразу же вторгается в сферу применения стеклопластиков.

Вот первое изделие. Дача-прицеп, которую можно возить за собой с помощью обычного автомобиля. Четырехместная «дача на колесах», снабженная холодильником, душем, кухонной плитой, словом со всеми удобствами, весит всего 900 кг.

Перспективные области применения пластика: авиация, судостроение, предметы ширпотреба... Фирма-изготовитель не без основания заявляет, что в будущем область применения нового материала ограничит только воображение проектировщика.

Если ввести понятие об удельной жесткости, то есть жесткости, приходящейся на единицу веса материала, то по этому показателю новый пластик оставляет позади даже стеклопластик. Очень велика его ударная вязкость. Это значит, что разбить или сделать в нем вмятину нелегко. Но даже если это удалось — не беда. Под действием струи воздуха, нагретого до 250—260°, через десять минут впадина бесследно исчезнет. Подобно стеклопластикам материал стоек к коррозии, к действию щелочей, кислот, соленой воды и т. д. Целый дом из него сможет перенести на много километров не очень большой самолет. На земле за полчаса его смонтируют несколько человек... Легчайшие автомобили-амфибии, непотопляемые лодки, которым не страшны удары о скалы...

Конечно, к буржуазной рекламе следует относиться с осторожностью. Может быть, этот материал и не обладает всеми перечисленными качествами, но бесспорно одно: стеклопластик — это не предел возможностей химии полимеров. Безгранично могущество науки, все новые требования предъявляет к ней наша эпоха покорения атома и космоса. Понадобятся все новые и новые материалы с самыми удивительными свойствами и неожиданными сочетаниями их.

Бесконечное разнообразие материалов, созданных человеком, изменит в будущем подход к их применению. Раньше из-за ограниченности выбора конструкцию изделия приспособляли к имеющемуся материалу. А завтра, наоборот, прежде всего будут устанавливать оптимальные свойства будущего изделия, а затем подбирать материал, удовлетворяющий этим требованиям. А если такой материал не существует в природе и еще не создан техникой? Значит, его надо создать. В будущем эта тенденция — создание материалов с заданными, «заказанными» свойствами — станет правилом.

Каковы же они, эти материалы будущего?

Они не обязательно должны быть полимерами. Достижения науки и техники сообщают качественно новые свойства материалам, известным сотни и даже тысячи лет.

Возьмем, например, стекло. Оно переживает сейчас свое второе рождение. Путем химической и термической обработки его превратили в совершенно новый по своим физическим свойствам материал — ситалл — стекло с микрокристаллической структурой, обладающее высокой прочностью и тугоплавкостью. Синтезированы ситаллы с коэффициентом линейного расширения, близким к нулю. Для них практически не существует закон: «все тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются».

Исследования в области физики твердого тела позволили проникнуть в глубь кристаллической структуры металлов и впервые получить нитевидные кристаллы железа, которые в 80—100 раз прочнее стали. Наступает эпоха сверхпрочных металлов.

Особыми методами химической обработки удалось облагородить древесину, придав ей новые сочетания свойств и прежде всего термопластичность.

Большой интерес представляют комбинированные материалы. Широчайшее применение в строительстве, в изготовлении мебели и различного оборудования находят древесно-слоистые пластики — сочетание древесины с синтетической смолой.

Создаются новые комбинированные материалы — ситаллопластики, которые отличаются от обычных пластиков более высокой термостойкостью, твердостью, износостойкостью, а от ситаллов — эластичностью.

Создан слоистый материал из графита и керамики, который обладает теплопроводностью на поверхности в 100 раз большей, чем во внутренних слоях. Это открывает перспективы штурма авиацией теплового барьера.

Возникает союз металлов и пластиков — от стали с виниловым покрытием, надежно защищающим ее от коррозии, до таких композиций, в которых нельзя указать, где кончается металл и начинается пластмасса.

Стираются грани между материалами, которые совсем недавно, казалось, не имели ничего общего друг с другом.

Не случайно директор исследовательских лабораторий по металлургии и керамике американской компании «Дженерал Электрик» У. Хиббард высказал смелое, но не лишнее смысла предположение, что примерно к 1970 г. исчезнет само деление материалов по их составу и свойствам, то есть на стекло, керамику, металлы, полимеры и т. д. На смену придет классификация материалов по их назначению: конструкционные, атомные, магнитные, электрические, оптические...

Таковы перспективы. Но будущее начинается сегодня. И в нашей брошюре мы познакомились с одним из материалов, у

которого нет вчерашнего дня, но есть настоящее и будущее. Не важно будут ли его называть так же, как и сегодня, или же он сольется с другими веществами и вместе они дадут новые материалы с необычайно интересными свойствами.

ЧТО ЧИТАТЬ О СТЕКЛОПЛАСТИКАХ

Б. И. Лосев, М. Л. Монина. Победители металлов. М., «Знание», 1963.

А. В. Горяинова. Стеклопластики в машиностроении. Машгиз, 1961.

Б. А. Киселев. Стеклопластики. Госхимиздат, 1961.

Стеклопластики. Под ред. Ф. Моргана. Пер. с англ. Изд-во иностр. литер. М., 1962.

Л. Г. Сорочишин. Стеклопластики. (Производство и применение). М., Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строит. материалам, 1961.

А. К. Буров, Г. Д. Андреевская. Высокопрочные стеклопластики. Изд-во Академии наук СССР, 1961.

Стеклотекстолиды и другие конструкционные пластики. Сборник статей под ред. Я. Д. Аврасина. Оборонгиз, 1960.

Б. М. Левин, А. Н. Левин. Применение пластмасс и экономия материалов в промышленности. М., Изд-во экономической литературы, 1962.

Б. И. Лосев, К. Н. Стрельцов. Обработка и сборка деталей из пластических масс. Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1960.

Н. И. Суслов. Замена металлов пластмассами. Машгиз, 1962.

П. А. Афанасьев. Применение пластических масс в машиностроении. Машгиз, 1961.

Л. С. Ахмечет, Л. В. Вайсер, А. Р. Чудновский. Применение пластических масс в технологической оснастке. Машгиз, 1962.

Б. Л. Рудой. Новая жизнь стекла. М., Изд-во «Знание», 1963.

Б. Л. Рудой. Оборудование для производства стекловолокна и стеклопластиков. Машгиз, 1962.

Б. И. Лосев, М. Л. Монина, Г. В. Пушинцев. Синтетические материалы в нефтяной и газовой промышленности. М., Изд-во «Недра», 1964.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Почему победило стекло?	6
Синтетическая смола в роли цемента	9
Четыре главных гибрида	13
Стеклопластик обретает форму	24
Клей против заклепки	27
Где их можно встретить?	29
Поговорим об эффективности материала	40
Взгляд в будущее	43
Что читать о стеклопластиках	47

Авторы:
Борис Иванович Лосев,
Маргарита Львовна Моница

Редактор **В. К. Черникова**
 Техн. ред. **А. С. Назарова**
 Худ. ред. **Е. Е. Соколов**
 Обложка **И. П. Сапфирова**
 Корректор **В. М. Климачева**

Сдано в набор 20/V 1964 г. Подписано к печати 2/VII 1964 г. Изд. № 74.
 Формат бум. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 1,75. Печ. л. 3,5. Уч.-изд. л. 2,91.
 А 03114. Цена 11 коп. Тираж 28 000 экз. Заказ 1987.

Издательство «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

11 коп.

**Индекс
72931**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1984