

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПЛАСТИКИ, ИХ ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ

Б. А. Киселев

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Стеклопластики	798
2. Асбопластики	805
3. Пластики на органических волокнах	807
4. Древесные пластики	807

Выдающиеся успехи химии полимеров позволили создать новые типы пластических материалов, обладающих комплексом замечательных свойств и в первую очередь высокой механической прочностью. Эти пластические материалы все более широко применяются в народном хозяйстве в качестве конструкционных материалов, конкурирующих с металлами и часто вытесняющих их.

I. СТЕКЛОПЛАСТИКИ

Среди конструкционных материалов особое место принадлежит стеклопластикам. Этот тип пластмасс охватывает группу материалов с различными физико-механическими характеристиками, технологическими свойствами и областями применения.

По типу наполнителя и технологическим свойствам стеклопластики условно можно разбить на четыре основные группы: 1) стеклотекстолиты; 2) ориентированные пластики; 3) стеклопластики на основе предварительно таблетированного неориентированного стеклянного волокна или стекломатов; 4) стекловолокнистые — литьевые или прессовочные материалы.

Проблема использования стеклопластиков в различных отраслях техники охватывает комплекс вопросов, связанных с производством стекловолокнистого наполнителя, синтезом связующих, разработкой и производством стеклопластиков, конструированием, изготовлением и применением изделий из стеклопластиков.

Широкое использование в качестве наполнителя стекловолокнистых материалов связано с высокой механической прочностью стеклянных волокон. Прочность стеклянного волокна зависит от химического состава стекла, диаметра волокна и технологического процесса изготовления его.

В производстве стеклопластиков применяются в основном волокна из бесщелочного алюмоборосиликатного стекла и значительно реже — из щелочного стекла. Щелочное стекло содержит большое количество окислов натрия и кальция. Волокна из этого стекла в условиях действия влаги и температуры необратимо снижают свою прочность. Волокно из бесщелочного стекла сравнительно мало подвержено действию влаги, может работать без значительного снижения прочности при температуре до 300—400° и обладает хорошими электроизоляционными свойствами.

Большим достоинством волокон из щелочного стекла является доступность и дешевизна исходного сырья, легкость технологического процесса получения волокон. Волокна из щелочного стекла обладают хорошей стойкостью к действию кислот, поэтому при правильном выборе связующего могут найти применение в химической промышленности. В связи

с этим необходимо усиление работ по использованию стекловолокнистых наполнителей на основе щелочного стекла в производстве стеклопластиков и изделий на их основе.

В ряде случаев существует необходимость в более термостойком волокне, сохраняющем свои механические свойства при 1000° и более высокой температуре. Эти требования стимулируют работы, проводимые в разных странах по созданию пригодных для получения волокон более термостойких рецептур стекла и технических методов получения волокон из кварца.

В литературе¹ появились сведения по получению волокон, в составе которых имеются окислы меди, которые затем восстанавливаются. Наличие на волокне пленки меди и других металлов способствует повышению адгезии, в частности эпоксидных связующих к волокну. Этим удается повысить механические характеристики стеклопластиков.

До последнего времени в СССР в качестве наполнителя конструкционных пластиков в основном применяется стеклянная ткань. В практике таких стран, как США, Англия, Италия и ряда других, растет объем производства и потребления стеклянных матов, ровницы. Применение этих более дешевых, не требующих процесса ткани наполнителей, позволяет упростить технологию производства крупногабаритных изделий и механизировать процессы получения изделий и материалов. Стеклопластики на основе этих наполнителей обладают изотропией свойств.

Следует также отметить, что значительному повышению объема производства стеклянного волокна будет способствовать частичный переход на применение стеклянного волокна диаметром 9 μ и выше, который осуществлен в большинстве стран, производящих стеклянное волокно. Во многих конструкциях из стеклопластиков возможно применение волокна диаметром 9 μ и выше вместо 7 μ .

Для ряда изделий из стеклопластиков чрезвычайно важно выдержать в строгих пределах соотношение в содержании смолы и стеклянной ткани. Однако эта задача осложняется в связи со значительными колебаниями веса нити ($\pm 11\%$) и ее крутки (7,5%). В связи с этим проводятся работы по более строгой стандартизации стекловолокнистого наполнителя на всех этапах производства стеклянной ткани. Результаты испытаний стеклотекстолитов, изготовленных на обычной стеклянной ткани и ткани, полученной при стандартизации материалов на всех этапах технологического процесса, показали, что колебания по прочности и удельному весу стеклопластика снижаются до 1,8%¹. В этом случае также удается получить минимальные колебания по толщине стеклянной ткани. Следует отметить, что уменьшение разброса показателей толщины ткани и получение стеклопластиков с малыми колебаниями по плотности обеспечивают изготовление изделий радиотехнического назначения с оптимальными свойствами, уменьшение расхода исходных материалов (стеклянной ткани и связующего) и сокращение механических работ, производимых при доводке изделия. Большие технологические возможности изготовления сложных изделий выявились при использовании трикотажных стеклотканей.

В производстве стеклопластиков находят применения связующие различного типа. Наиболее широко используются полиэфирные, фенолформальдегидные, полиэпоксидные и кремнийорганические смолы. Выбор того или иного связующего определяет свойства стеклопластиков и технологические методы изготовления изделий из них.

Широкое применение стеклопластиков в различных отраслях техники в значительной мере связано с большими технологическими достоинствами ненасыщенных полимеров. Прессование изделий из стеклопластиков на основе полиэфирных смол осуществляется при малых давлениях и при сравнительно низкой температуре.

Проведенные в последние годы работы по синтезу новых ненасыщенных полиэфиров и связующих на их основе были направлены на повышение их физико-механических и технологических свойств. Значительно расширилось количество модификаций полиэфирокрилатов, получаемых при полимеризации двухосновных кислот многоатомными спиртами и регулированием роста цепи полиэфира добавкой метакриловой кислоты, и полиэфир малеинатов. Первый тип ненасыщенных полиэфиров, разработанный Берлинским с сотрудниками², наряду с полиэфирмалеинатами нашел преимущественное применение в СССР. Этими авторами установлена реальная возможность снижения стоимости полиэфирокрилатов. Химическая промышленность должна быть готова к расширению ассортимента полиэфирокрилатов для удовлетворения специфических требований различных отраслей техники.

Основными недостатками полиэфирных смол, применяемых в производстве стеклопластиков, является горючность и, в ряде случаев, недостаточная теплостойкость. Благодаря использованию галоидсодержащих полиэфиров и введению специальных наполнителей удалось снизить горючность связующих.

Повышению теплостойкости полиэфирных связующих способствовало применение в качестве второго компонента: диаллилфталата, триаллилцианурата и ряда других соединений. Более термостойкие полиэфирные связующие получены введением в их состав некоторых кремнийорганических соединений, содержащих ненасыщенные группы, способных сополимеризоваться с другими компонентами связующих.

Необходимо отметить также, что в последние годы значительно расширился ассортимент мономеров, применяемых для получения полиэфирных смол. Кроме стирола, диаллилфталата, триаллилцианурата в производстве прозрачных и светостойких стеклопластиков применяется метилметакрилат или его смесь со стиролом³. Использование винилтолуола обеспечивает лучшие технологические свойства связующего.

Расширению технологических возможностей полиэфирных связующих способствовали также исследования в области производства различных инициаторов, ускорителей и промоторов, вызывающих отверждение связующих в процессе прессования изделий при различной температуре. Перекись метилэтилкетона, циклогексанона, лаурила, гидроперекись третичного бутила и др. позволяют вести процесс отверждения полиэфирных смол в комнатных условиях и при невысокой температуре.

Несмотря на наблюдаемую тенденцию к уменьшению применения полиэфирных связующих в некоторых ответственных конструкциях авиационной техники, производство полиэфирных связующих растет за счет использования их в судостроении, вагоностроении, строительстве и других отраслях техники.

Для производства наиболее нагруженных конструктивных элементов из стеклопластиков все большее применение находят связующие на основе эпоксидных смол. При использовании их для изготовления стеклопластиков удаётся получить материалы с более высокой прочностью по сравнению со стеклопластиками на полиэфирных смолах. Эпоксидные смолы обладают хорошей смачивающей способностью и адгезией к стеклянному волокну, малой объемной усадкой при отверждении и хорошей совместимостью с различными смолами, что облегчает модификацию свойств эпоксидных связующих.

Большим положительным качеством эпоксидных связующих является возможность ведения процесса формования как по «мокрому», так и по «сухому» способу. Недостатком эпоксидных связующих является сравнительно небольшая теплостойкость. Применение эпоксидных связующих задерживает их токсичность, связанную в первую очередь с токсичностью применяемых отвердителей. Этим объясняется появление большого количества работ, посвященных изысканию новых отвердителей и путей

снижения их токсичности⁴. Повышение теплостойкости эпоксидных смол в значительной мере достигается модификацией их свойств фенолформальдегидными, кремнийорганическими, фурфурольными и другими смолами⁵. Сравнительно высокой теплостойкостью и малой горючестью обладают стеклопластики с эпоксидными смолами, отверженными аддуктами гексахлорциклогентадиена с малеиновым или итаконовым ангиридидом⁶. Теплостойкость материалов повышается особенно при комбинированном использовании этих аддуктов с другими отвердителями.

Наиболее дешевыми и доступными связующими являются фенолформальдегидные смолы и их модификации. Основные направления исследований в области этих связующих — это достижение предельно возможных температур эксплуатации и улучшения их технологических свойств. В результате исследований установлено, что конструкционные стеклопластики на основе фенолформальдегидных смол, длительно эксплуатирующиеся при 180—200°, кратковременно могут использоваться и при более высоких температурах — до 1000° и более.

Модификация фенолформальдегидных смол позволила создать связующие, на основе которых прессование изделий производится при низких давлениях. При этом обеспечивается получение материалов с высокими физико-механическими показателями. Примером такого типа материалов являются стеклотекстолиты КАСТ, ВФТ-С, материал АГ-4, на основе связующих БФ и ВФТ. Прекрасными технологическими свойствами обладает материал АГ-4, что обеспечило широкое применение его. Фурфуральноформальдегидные связующие, содержащие в качестве активного растворителя фурфурол, с успехом используются для изготовления при низком давлении крупногабаритных термостойких деталей.

Кремнийорганические смолы, обладающие высокой термостойкостью, водостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами, еще мало применяются в производстве конструкционных материалов. Причиной этого является недостаточная адгезия таких смол к стеклянному волокну, сравнительно низкая когезионная прочность смолы и, в связи с этим, значительное снижение прочности при статическом изгибе в условиях действия повышенных температур. Основное направление работ по устранению недостатков, присущих кремнийорганическим полимерам, заключается в получении на их основе смешанных органокремнийорганических соединений и смоляных композиций, представляющих собой модификации кременийорганических полимеров органическими смолами. Необходимо отметить, что последний путь получения смоляных композиций стал возможным благодаря успехам, достигнутым в получении полисилоксановых смол с различными функциональными группами (гидроксильными, алcoxильными, ненасыщенными и т. д.). Стеклопластики, сочетающие высокую теплостойкость с хорошими механическими свойствами, получены на основе модификаций кремнийорганических смол фенолформальдегидными, эпоксидными смолами и ненасыщенными полиэфирами.

Если одной из основных задач в области стеклопластиков является повышение их теплостойкости, то не менее важна проблема необходимости стабилизации их свойств при повышенной влажности и при работе в воде. Водопоглощение порядка 0,5—1,5% вызывает заметное снижение механических свойств материала, что недопустимо в случаях применения стеклопластиков в судостроении, авиации и ряде других отраслей техники. Этим объясняется большое число работ, посвященных устранению этого недостатка материала. Анализируя эти работы, можно отметить, что сейчас довольно четко выявились три направления, способствующие улучшению свойств стеклопластиков.

Первое направление — обработка стекловолокнистого наполнителя веществами, образующими химическую связь со стеклом, за счет гидролиза некоторых его групп на поверхности стеклянного волокна, и химическую связь со связующим в результате реакции сополимеризации или

соконденсации с компонентами связующего. Уже найдено много соединений, пригодных для этой цели. К ним относятся: волан — комплексное соединение смешанной хромовой соли метакриловой и соляной кислот и оксихлорида хрома, винилтрихлорсилан, винилтриэтоксисилан и другие ненасыщенные кремнийорганические соединения, применяемые для обработки стекловолокнистого наполнителя при использовании полимерных связующих.

При применении фенолформальдегидных, меламиновых и эпоксидных смол в производстве стеклопластиков для обработки ткани применяют γ-аминопропилтриэтоксисилан, резорцин-окси-производные хлорсиланов. На основе последнего типа соединений получены универсальные продукты, пригодные при применении различных связующих. К ним относятся продукт взаимодействия аллилтрихлорсилана или винилтрихлорсилана с резорцином.

Вторым направлением, обеспечивающим повышение водостойкости стеклопластиков, является введение в состав связующего мономерных кремнийорганических соединений, взаимодействующих в определенных условиях с ним и имеющих достаточно стабильные группы, способные гидролизоваться в присутствии влаги, находящейся на поверхности стеклянного волокна. При правильном выборе вводимых в связующее соединений удается повысить не только водостойкость, но и улучшить физико-механические свойства пластика и повысить теплостойкость.

Третье направление повышения водостойкости предусматривает введение некоторых веществ в состав замасливателя. Для этого были, в частности, использованы эмульсии поливинилацетата, содержащие силиканы и волан. Этот путь повышения водостойкости, хотя технически наиболее трудный, с нашей точки зрения, наиболее перспективен.

Растущее применение стеклопластиков в различных областях техники связано не только с успехами в части производства стекловолокнистых наполнителей и синтеза связующих, но и в большей степени с разработкой новых технологических приемов производства стеклопластиков и изделий на их основе.

Создание непрерывного способа изготовления листовых и профилированных материалов из стеклянных тканей и матов, различных профилей из ровницы обеспечило значительное снижение трудоемкости производства стеклопластиков.

Снижение трудоемкости и улучшение условий труда при изготовлении сложных изделий из рубленого стеклянного волокна достигнуто благодаря использованию агрегатов для насасывания или насыщения, центробежной установки для изготовления изделий, представляющих собой тела вращения (баки, трубы и т. д.). На этом оборудовании ряд процессов автоматизирован и совершается без участия человека.

Высокопроизводительные установки созданы для изготовления труб больших габаритов с использованием как ровницы, так и тканей. Наряду с этим следует отметить, что часто прибегают к нерациональным методам изготовления ряда изделий и в том числе труб. Так, на некоторых заводах, где изготавливаются трубы, принятая технология, используемая при изготовлении втулок из текстолита, заключающаяся в том, что пропитанный стекловолокнистый наполнитель наматывается на дюрн, а затем опрессовывается в форме. В результате такой технологии нарушается направление слоев наполнителя в трубе, а при механической обработке перерезается некоторое количество слоев, что, в свою очередь, вызывает увеличение расхода материала и снижение механической прочности изделия. Следует отметить также несовершенство оборудования для производства анизотропных стекловолокнистых материалов, в частности, на заводе слоистых пластиков в Ленинграде. Разработка непрерывного способа получения анизотропного материала с постоян-

ными свойствами будет способствовать более широкому применению этого материала в ответственных конструкциях.

При изготовлении ряда ответственных изделий радиотехнического назначения, где важно постоянство ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ по всему изделию, а также некоторых конструкций, необходимо выдержать одинаковую толщину стенок изделия. При использовании жестких пуансона и матрицы, применяя пропитку стекловолокнистого наполнителя в вакууме и под давлением непосредственно в форме, удается получить изделие с точным допуском по толщине и плотности материала, что обеспечивает постоянство радиотехнических характеристик. Пропитка в вакууме или под давлением позволяет создать такие условия труда, при которых работающему практически можно избежать контакта со связующими, являющимися в той или иной мере токсичными.

Внедрение новых методов переработки стеклопластиков и их дальнейшее усовершенствование — важнейшая задача работников промышленности пластмасс. Решение ее позволит снизить стоимость стеклопластиков и расширить их применение в народном хозяйстве.

В табл. 1 приведены основные физико-механические свойства стекловолокнистых пластиков различных типов: некоторых марок стеклотекстолитов, стекловолокнистого анизотропного материала СВАМ и стеклопластика на основе стекловолокнистого мата и полизифирной смолы.

Из данных, приведенных в табл. 2 и рис. 1, 2, 3, можно представить положение, которое занимают стеклопластики среди других конструк-

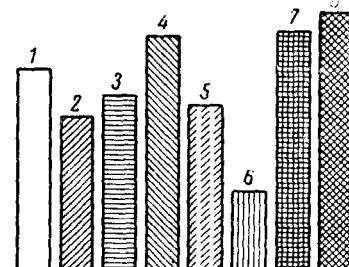


Рис. 1. Удельная прочность конструкционных материалов при растяжении. 1 — сталь марки 30ХГСА; 2 — дюралюминий Д16; 3 — титан ОТ-4; 4 — сосна ДРС; 5 — дельта-древесина ДСП; 6 — текстолит ПТК; 7 — стеклотекстолит ЭФ 32-301; 8 — СВАМ

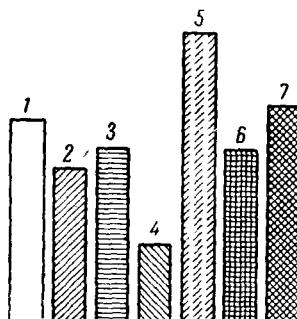


Рис. 2. Удельная прочность конструкционных материалов при сжатии. 1 — сталь 30ХГСА; 2 — дюралюминий Д16; 3 — титан ОТ-4; 4 — сосна ДРС; 5 — дельта-древесина ДСП; 6 — стеклотекстолит ЭФ 32-301; 7 — СВАМ

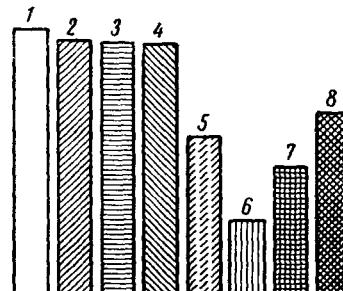


Рис. 3. Удельная жесткость конструкционных материалов. 1 — сталь 30ХГСА; 2 — дюралюминий Д16; 3 — титан ОТ-4; 4 — сосна ДРС; 5 — дельта-древесина ДСП; 6 — текстолит ПТК; 7 — стеклотекстолит ЭФ 32-301; 8 — СВАМ

ционных материалов. Стеклопластики обладают высокой механической прочностью. Удельная прочность стеклотекстолита и анизотропных стекловолокнистых пластиков не уступает, а иногда даже превышает удельную прочность стали, дуралюминия и титана. Недостатком стеклопластиков является сравнительно небольшая жесткость.

ТАБЛИЦА 1

Основные физико-механические и диэлектрические свойства стеклопластиков на основе различных связующих

Свойства	СТ-911 полиэфирное связующее	ЭФ32-301 эпоксидно- фенольное связующее	КАСТ	КСТ-В	ВФТ-С	ФН фенол- формальде- гиднофурфу- рольное связующее	СК-9Ф фенольно- кремнийорга- ническое связующее	Матернал СВАМ фа- нерной кон- струкции на эпоксид- ной смоле	Пластик из стекло- волокнистого матта и поли- эфирной смолы
			Модифицированные фенолформальдегидные связующие						
Удельный вес, $\text{г}/\text{см}^3$	1,71	1,62—1,71	1,7—1,85	1,75—1,85	1,6—1,8	1,53—1,68	1,65—1,8	1,88—1,91	1,6—1,7
Предел прочности при растяжении, $\text{кг}/\text{см}^2$	4345	4080	3300	3200	4000	3510	3705	4500—4700	1000—1800
Модуль упругости при растяжении, $\text{кг}/\text{см}^2$	210 000	220 000	206 000	200 000	220 000	188 500	222 500	до 350 000	80 000—100 000
Предел прочности при сжатии вдоль слоев, $\text{кг}/\text{см}^2$	1537	2600	—	1000—1200	1715	1070	1610	4200	—
Предел прочности при ста- тическом изгибе, $\text{кг}/\text{см}^2$	2740	4140	—	1265	3375	2135	2610	4100—4600	2000—3200
Удельная ударная вяз- кость, $\text{кг}\cdot\text{см}/\text{см}^2$	525	148	80	70	105	181	145	290—310	70—80
Теплостойкость по Мар- тенису, $^{\circ}\text{C}$	290—294	241	—	250	240	270—320	370	—	—
Водопоглощение за 24 ча- са, %	0,40—0,65	0,28	1—3	0,8—1,5	1,15	1,55	0,8	—	—
Коэффициент линейного расширения	$3,4—3,7 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	—	$9 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$6,25 \cdot 10^{-6}$	—	—
Теплопроводность, $\text{kкал}/\text{м} \cdot$ $^{\circ}\text{C}$	0,389—0,40	0,30	—	0,24	0,25	0,30	0,31	—	—
$\operatorname{tg}\delta \cdot 10^{10} \text{ гц}$	0,014—0,016	0,0143—0,0171	—	—	0,014—0,016	0,02	—	—	—
$\epsilon \cdot 10^{10} \text{ гц}$	4,30—4,40	4,50—4,70	—	—	4,25—4,50	3,95	—	—	—
Пределенная температура эксплуатации, $^{\circ}\text{C}$	200	200	160	180—200	300	350	400	200	—
Назначение материала	Изделия конструкционного и радиотехнического назначения								

ТАБЛИЦА 2
Механические свойства конструкционных материалов

Материал	Удельный вес γ , $\text{кг}/\text{см}^3$	Предел прочности, $\text{кг}/\text{см}^2$		Удельная прочность		Модуль упругости E , $\text{кг}/\text{см}^2$	Удельная жесткость E/γ
		при растяжении σ_b	при сжатии σ_d	σ_b/γ	σ_d/γ		
Сталь 30ХГСА	7,85	16000	16000	2040	2040	2100 000	268 000
Дюралюминий Д-46	2,8	4400	4400	1570	1570	720 000	257 000
Титан-ОТ-4	4,5	8000	8000	1775	1775	1150 000	255 000
Сосна ДРС	0,52	1230	420	2370	810	130 000	250 000
Дельта-древесина листовая ДСП	1,25	2100	3600	1680	2920	200 000	160 000
Текстолит ПТК	1,35	4100	—	810	—	100 000	77 000
Стеклотекстолит ЭФ-32-301	1,7	4180	3000	2400	1760	220 000	130 000
СВАМ (1 : 1)	1,9	5000	4200	2600	2200	350 000	184 000

Стеклопластики хорошо противостоят действию ударных и динамических нагрузок и обладают способностью гасить колебания элементов конструкции. Так, стеклотекстолит ВФТ-С при симметричном изгибе выдерживает без разрушения при напряжении $800 \text{ кг}/\text{см}^2$ более 19 млн. циклов нагружений. Стеклотекстолиты на полиэфирном связующем при напряжении, составляющем 23% предела прочности, при статическом изгибе выдерживают 10 млн. циклов нагружений; стеклопластик из матов способен работать в аналогичных условиях при нагрузке, равной 21% исходной прочности. Необходимо иметь в виду, что изучение усталостной и длительной прочности стеклопластиков еще только началось. Без сомнения, исследование этих свойств стеклопластиков обеспечит дальнейшее улучшение характеристик материала за счет подбора оптимальных по структуре стекловолокнистых наполнителей и связующих.

Стеклопластики характеризуются сравнительно высокой стойкостью к действию атмосферы, влаги и воды, что выгодно отличает их от других пластиков. Высока коррозионная стойкость стеклопластиков. Они обладают высокой теплостойкостью и могут работать при температуре до 400° , а в ряде случаев кратковременно противостоять действию температуры 1000° и выше. Возможность эксплуатации изделий из стеклопластиков при высоких температурах связана с их малой горючестью и незначительной теплопроводностью.

Совокупность свойств стеклопластиков обеспечила широкое применение их в различных областях промышленности и техники. Сейчас стеклопластики можно встретить и в атомном реакторе и в качестве кровли производственного помещения.

Раньше чем в других отраслях техники, стеклопластики начали применять в авиационной промышленности⁷. До сих пор они являются основным материалом радиотехнических конструкций: обтекателей радиолокационных станций, поверхностных антенн и т. д. Успешно ведутся работы с целью использования стеклопластиков для основных наиболее нагруженных элементов конструкций. Интересно отметить, что сейчас делаются попытки использовать стеклопластики в реактивных двигателях, в частности для изготовления лопаток компрессора.

Поиски новых материалов в судостроении^{8, 9} и применение стеклопластиков вызваны недостатками, присущими древесине и металлом. Корпус корабля из стали или других металлов при действии морской воды корродирует и нуждается в тщательной защите. Ремонт металлического корпуса или его элементов трудоемок. Суда из стеклопластиков не имеют недостатков, присущих судам из древесины или металла. Они не гниют, не подвергаются коррозии, имеют сравнительно небольшую водопоглощаемость, хорошо противостоят действию морской воды.

Значительное применение находят стеклопластики в автомобильной промышленности¹⁰, для производства кузовов легковых и кабин грузовых машин, особенно автомашин специального назначения, выпускаемых в сравнительно небольших количествах. Использование стеклопластиков в автомобилестроении обеспечивает значительное снижение веса автомобиля и легкость организации его производства. Благодаря снижению веса автомобиля, удается уменьшить расход горючего и повысить грузоподъемность. Автомобили, имеющие стеклопластмассовые кузова, удобны для работы в южных и северных районах. Из-за малой теплопроводности стеклопластиков в кабине дольше сохраняется нормальная температура. Автомобили из стеклопластиков обладают высокой стойкостью к ударам и производят значительно меньше шума, чем металлические.

Стеклопластики привлекли внимание и вагоностроителей¹¹. Использование полупрозрачных стеклопластиков для изготовления крыши и стен вагонов позволяет улучшить их освещенность, повысить комфортабельность. Благодаря хорошим теплоизоляционным свойствам, стеклопластики в сочетании с пенопластами применяются в производстве вагонов-холодильников. Стеклопластики успешно применяются в производстве шахтных вагонеток.

В химической промышленности¹² используются емкости и трубопроводы из стеклопластиков, имеющих высокую стойкость к действию химических реагентов. В промышленном строительстве, особенно химических производств, стеклопластики могут успешно применяться в качестве кровли. Малый вес такой кровли дает возможность снизить вес несущих элементов конструкций и уменьшить стоимость строительства.

Перечисленными примерами далеко не исчерпываются области применения стеклопластиков. Здесь мы хотели только подчеркнуть, какими огромными возможностями обладают эти материалы.

Необходимо, однако, отметить, что растущее применение стеклопластиков в промышленности требует создания специальных методов расчета и конструирования из них изделий с глубоким учетом их физико-механических свойств. Только в этом случае можно добиться рационального и экономически выгодного их применения. При новых методах расчета и конструирования появится реальная возможность использования стеклопластиков с учетом их небольшой жесткости.

Высокой жесткостью, часто превосходящей жесткость металлических конструкций, обладают изделия из стеклопластиков со стенками трехслойной конструкции. Но технология изготовления трехслойных конструкций сложна и трудоемка. Основными облицовочными материалами трехслойных конструкций являются стеклопластики, а в качестве материала промежуточного слоя используются пенопласти, соты из пропитанной бумаги, хлопчатобумажной или стеклянной ткани и тонкой металлической фольги. При этом необходимо иметь в виду, что возможности сотовых конструкций в значительной мере определяются kleями, используемыми в производстве сот и для приклейки их к облицовочным слоям.

Применение трехслойных конструкций часто целесообразно не только для повышения жесткости конструкции, но и для улучшения ее радиотехнических или теплофизических свойств. В связи с этим трехслойные и многослойные конструкции применяют при производстве обтекателей, рефрижераторов; в судостроении использование трехслойных конструкций повышает пловучесть и живучесть корабля.

Требование создания новых методов расчета конструкций из стеклопластиков может быть удовлетворено только при глубоком знании свойств материала. В этой связи приобретает особое значение изучение статических, динамических, теплофизических и других характеристик материала. Изучение этих характеристик, в свою очередь, требует спе-

циальных методов исследования как при нормальной, так и при повышенной температуре. Многие из существующих методов оценки свойств материалов мало пригодны для стеклопластиков. Повышенная прочность, теплостойкость, предел усталости при растяжении при повышенной температуре и при наличии влаги, эрозионная стойкость — далеко не полный перечень характеристик, для которых должны быть разработаны методы при исследовании свойств стеклопластиков.

2. АСБОПЛАСТИКИ

Наряду со стеклопластиками, в последние годы в тяжелом машиностроении, на железнодорожном транспорте¹³, в авиационной и ракетной технике⁷ довольно широко в качестве конструкционного материала начали применяться асбопластики. Рост применения асбопластиков связан с повышенной теплостойкостью асбоволокнистых наполнителей, снижающих в ряде случаев прочность меньше, чем стеклянные волокна. Созданы новые пути переработки асбопластиков в изделия.

В СССР наибольшее применение нашел асбокстолит, имеющий в качестве наполнителя асбестовую ткань и связующее — фенолформальдегидную смолу¹⁴. Из асбокстолита механическим путем изготавливается широкий ассортимент деталей, работающих в различных условиях. Недостатком данного метода изготовления деталей является большой расход материала и снижение механической прочности изделий при перезании слоев ткани. Следует при этом иметь в виду, что для изготовления асбестовой ткани нужны лучшие сорта длинноволокнистого асбеста; асбестовые нити содержат некоторое количество хлопчатобумажного волокна, что снижает теплостойкость пластиков на их основе.

Асбестовые волокна применяются для изготовления прессовочных композиций К6, КФЗ, К 41-5 и т. д., используемых для изготовления деталей различного назначения и фаяолита для химической промышленности¹⁵.

Экономически более выгодным наполнителем является асбестовая бумага и картон, которые сейчас успешно применяют для изготовления слоистых асбопластиков. Механические и диэлектрические свойства слоистых пластиков на основе асбестовой бумаги и картона мало отличаются от свойств асбокстолита и зависят также от типа смолы (табл. 3).

Усталостная прочность пластиков на основе бумаги выше, чем у асбокстолита¹⁶.

Вследствие незначительной способности пропитанной асбобумаги и картона к растяжению, их можно использовать только для изготовления плоских изделий. Существует ряд методов изготовления изделий сложной формы¹⁷. Сложные изделия получают методом, аналогичным бумажному литью: в большом объеме воды супензируют асбестовое волокно, в суспензию вводят связующее. В нижней части установки располагают сетчатую форму. При вакуумировании волокно и связующее распределяются по поверхности формы. После образования слоя требуемой толщины заготовка обезвоживается, высушивается и прессуется. Применяемое связующее должно образовывать в воде эмульсию или суспензию. В качестве связующих используют фенолформальдегидные, полиэфирные и эпоксидные смолы.

Подобные изделия могут быть изготовлены также из заготовок, полученных методом предварительного формования. Оборудование, применяемое для этой цели, аналогично применяемому при насасывании стеклянных волокон. Метод заключается в следующем: волокна в закрытой камере насасываются при помощи вакуума на поверхность перфорированной формы, имеющей контуры изготавляемого изделия. Перед снятием с формы, заготовка опрыскивается связующим для при-

дания ей минимальной прочности, необходимой для последующей пропитки и прессования изделия.

В качестве наполнителя особенно широко применяют асбестовые маты, которые получают на асбестоцесальных машинах. Эти маты пред-

ТАБЛИЦА 3

Свойства слоистых асбопластиков с применением различных смол¹⁶
(Чехословакия, ГДР, Великобритания, США)

Свойства	Фенольная смола		Меламиновая смола		Кремнийорганическая смола	
	ткань	картон	ткань	картон	ткань	картон
Удельный вес, г/см ³	1,5—1,8	1,5—1,83	1,75—1,85	1,75—1,85	1,75	1,65
Водопоглощение при равной толщине, %	0,4—3,0	0,3—5,0	0,4—5,0	0,4—5,0	—	1,0
Предел прочности при растяжении, кг/см ²						
поперек основы	400—840	350—1050	455—840	455—940	410	800
вдоль основы	400—700	560—900	—	1050	—	—
Предел прочности при сжатии, кг/см ²						
перпендикулярно слоям вдоль слоев	1260—3150	800—2800	1890—3500	2450—2660	2310	1000
1400—1470	1190	—	—	—	—	—
Предел прочности при изгибе, кг/см ²						
вдоль основы	700—2450	700—2450	1190—1680	1190—2100	840	1400
поперек основы	800—980	770—1400	—	2450	—	—
Предел прочности при срезе, кг/см ²	770	—	—	—	1260	—
Модуль упругости при растяжении, кг/см ²	24000—119000	25000—175000	—	—	—	—
Предел прочности при скальвании, кг	280	120	—	—	—	—
Теплостойкость по Мартенсу	160—250	160—200	100—205	100—205	—	250
Длительная термостойкость (200 час.), °С	135—150	135	108—250	108—250	—	—
Коэффициент линейного термического расширения $\times 10^{-5}$	1,5—1,7	1,5	—	—	—	—
Пробивное напряжение, кВ/мм	2,5	4,0	2,5—5,0	2,5—5,0	—	6—7
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10^6 гц	0,115	0,115	0,12—0,22	0,12—0,22	—	0,45 (при 800 гц)

ставляют собой слоистый материал с основным параллельным расположением волокон и иногда содержат некоторое количество стеклянных волокон. Маты пропитываются фенольной, меламиновой, полизэфирной или эпоксидной смолой. Прессование матов производится при сравнительно небольшом давлении. Подобные маты выпускаются в США под названием «Пиротекс» и в Англии «Дурестоз»¹⁷.

Как уже отмечалось, в производстве асбопластиков сейчас используются различные связующие. Наиболее термостойкие конструкционные материалы получены с применением фенолформальдегидных смол. Мнение авторов, изучавших свойства асбопластиков, о температурных возможностях их различно. Вероятно, это связано как с различными методами определения термической устойчивости материала, так и с различными требованиями, предъявляемыми к изделиям из асбопластиков.

Во всяком случае, можно ожидать, что асбопластики на фенолформальдегидных связующих могут длительно работать при 200—250°,

кратковременно при $400\text{--}500^\circ$, при одностороннем нагреве в течение нескольких секунд до $2500\text{--}2750^\circ$ ^{17, 18, 19}. При 540° и выше заметно ухудшаются свойства материала за счет потери асбестом кристаллизационной воды.

3. ПЛАСТИКИ НА ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Широкое применение стекло- и асбопластиков в качестве конструкционного материала не означает, что сейчас исчерпаны все возможности повышения свойств и применения пластиков на органических волокнистых наполнителях. Непрерывное усовершенствование наполнителей, связующих и технологии переработки позволило создать новые возможности применения таких материалов.

Приведем несколько примеров: в ГДР²⁰ для изготовления образцов опытных автомобилей были с успехом применены стеклопластики на полиэфирных смолах. Однако экономический анализ производства показал, что экономически более целесообразно в серийном производстве для изготовления кузовов использовать в качестве наполнителя отходы хлопчатобумажного производства в форме специального мата, а связующего — порошкообразные фенольнокрезольные смолы, которые вводятся в мат при его изготовлении. Производство деталей кузова осуществляется прессованием под давлением $50 \text{ кг}/\text{см}^2$ и при $150\text{--}160^\circ$. Некоторые характеристики такого материала: предел прочности при статическом изгибе $1200\text{--}1500 \text{ кг}/\text{см}^2$, удельная ударная вязкость — $25\text{--}30 \text{ кгсм}/\text{см}^2$, модуль упругости $83\,000 \text{ кг}/\text{см}^2$, удельный вес $1,36 \text{ г}/\text{см}^3$.

В последнее время в литературе²¹ появились сообщения о материале Resnit, представляющем собой трикотажную ткань, пропитанную фенольноформальдегидной смолой. Процесс изготовления изделий из этого материала состоит из следующих операций: вырезании заготовки из пропитанной ткани, сборки пакета необходимой толщины и прессования. Прессование осуществляется при 160° , давлении $7\text{--}35 \text{ кг}/\text{см}^2$. Процесс прессования изделий из подобного материала напоминает глубокую вытяжку металлов и производится на аналогичном оборудовании. Сообщается, что материал с успехом может быть применен в крупносерийном производстве автомобилей.

Большие возможности в производстве конструкционных пластиков открывает применение в качестве наполнителя тканей из синтетических волокон — полиамидного и полиэфирного. Глубокое изучение свойств таких пластиков, особенно при высокой температуре, позволяет расширить области применения пластиков вообще и особенно в качестве теплоизолирующих материалов. Первые испытания таких материалов при $2500\text{--}3000^\circ$ и выше показали, что потери их в весе в интенсивном тепловом потоке меньше, чем у стеклотекстолита и асботекстолита.

При широком производстве синтетических волокон, пластики на их основе могут найти применение и в производстве крупных подшипников, различных амортизаторов и других изделий. Уместно отметить, что полиамиды могут найти и самостоятельное применение в качестве конструкционного материала, например, в производстве винтов различных судов. Переработка их в изделия может осуществляться как механическим путем, так и литьем под давлением.

4. ДРЕВЕСНЫЕ ПЛАСТИКИ

Древесные пластики уже значительное время применяются в народном хозяйстве Советского Союза¹⁵. При обзоре конструкционных пластиков нельзя не остановиться на этих материалах. Производство древесных пластиков имеет практически неограниченные источники сырья. Древесные пластики выпускаются в виде листов и плит, которые могут быть использованы для изготовления различных деталей механическим путем, например, винтов вертолетов, винтов спортивных машин; в виде

пропитанного шпона, который используется для прессования вкладышей подшипников, втулок и других деталей; в виде термогибких материалов типа беролит, способных к дальнейшей переработке в изделия методом горячего прессования. Широкое применение могут найти древесные пластики на основе фурфурольно-акетоновых смол. Такие пластики обладают пониженной горючестью.

Древесные пластики, без сомнения, будут все шире применяться в вагоностроении, тяжелом машиностроении, в производстве технологической оснастки.

Рассмотренные в обзоре вопросы далеко не исчерпывают всей проблемы производства и применения конструкционных пластиков. В статье сделана попытка осветить только некоторые из них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нагго Наген, Kunststoffe, **49**, № 2, 59—62 (1959).
2. А. А. Берлин, Г. Л. Попова, ДАН, **123**, 282 (1958).
3. Нагго Наген, Kunststoffe, **49**, № 3, 127—129 (1959).
4. C. F. Pitt, M. N. Paul, Modern Plastics, **34**, № 12, 125—128 (1957).
5. W. Brenner, E. I. Singer, Materials and Methods, **41**, № 6, 102 (1955).
6. P. Robitschek, S. J. Nelson, Ind. and Eng. Chem., **48**, № 10, 1951 (1956).
7. Б. А. Киселев, Применения пластмасс в авиастроении. Изд. ВИНИТИ, АН СССР, 1958.
8. М. С. Асланова, В. Е. Шейко, Б. П. Теребенин, К. В. Пантелеев, Производство материалов из стеклянного волокна в Англии, БТИ легкой промышл., Москва, 1959.
9. The Motor Boat and Yachting, **92**, № 2096, 160 (1959).
10. Giulio De Luca, Poliplasti e plasticî reinforzati, **7**, № 34, 43—45 (1959).
11. British Plastics, **32**, № 4, 136—142 (1959).
12. A. W. Rawal, Australian Plastics and Rubber Journal, **15**, № 163, 27 (1959).
13. Ф. Г. Дворецкий, Пластмасса в машиностроении, Машгиз, 1956.
14. Я. Л. Шугал, В. В. Барановский, Слоновые пластики, Госхимиздат, 1953.
15. И. П. Михеев Прессматериалы на основе фенолформальдегидных смол, Госхимиздат, 1955.
16. Kaufschuk und Gummi, **10**, 306—310 (1957).
17. Там же, **11**, 28—30 (1958).
18. Modern Plastics, **35**, № 10, 155—166 (1958).
19. Kunststoffe, **48**, 523—524 (1958).
20. Reichelt, Kraftfahrzeugtechnik, **9**, № 2, 44—50 (1959).
21. Rubber and Plastics Age, **40**, № 4, 337 (1959).

п- 4128

