

УДК 620.22

## СТЕКЛОПЛАСТИКИ – СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ

*А.И. Преображенский,  
канд. техн. наук, главный редактор журнала «Главный механик»,  
E-mail: glavniy\_mekhanik*

**Аннотация.** В статье рассмотрены история развития стеклопластиков, их свойства и области применения. Дан обзор основных технологий изготовления изделий на основе стеклопластиков в различных отраслях промышленности.

**Ключевые слова:** стеклопластики, ручное формование, вакуумное формование, трансферное формование, вакуумная инфузия, пултрузия,

### СТЕКЛОВОЛОКНО

Любой из нас, кому довелось расплавлять и растягивать стеклянную палочку на уроке химии, занимался созданием стекловолокна. Точно таким же способом его создавали древние египтяне и греки. В средневековой Венеции ремесленники использовали все более тонкие нити для украшения своих изделий. Было замечено, что стеклянные нити в отличие от хрупкого кускового стекла, обладают парадоксальным свойством – чем они тоньше, тем более гибкими они становятся. По мере того, как нити становились все тоньше и тоньше, возрастала их гибкость, но все же они оставались все еще достаточно толстыми и ломались при сильном изгибе.

С приходом индустриальной революции стеклянные нити стали использовать не только при изготовлении украшений. В 1836 г. француз

Дабю-Боннель получил первый в мире патент на способ получения нитей. В 1872 г. институт Франклина в Филадельфии сообщил, что инженер К. Селлерс изготовил «минеральный хлопок», продувая струю пара через жидкое стекло. В результате была получена белая мягкая масса, пригодная для изоляции паровых котлов и трубопроводов.

К 1842 г. английский ткач изготовил первое платье из стеклянных нитей, а в 1879 г. газеты сообщили, что венецианский мастер открыл магазин в Германии, в котором он предлагал модные платья из стеклянной пряжи. Помимо изготовления материала, стеклянные волокна могли бы с успехом использоваться для многих других целей, но этому препятствовали две главные проблемы. Было достаточно трудно изготавливать их настолько тонкими, чтобы они обладали хорошей гибкостью, и вторая пробле-

ма заключалась в отсутствии промышленного способа производства. Эти препятствия были преодолены в 1930-х после того, как на фирме Owens-Illinois Glass Company, были сделаны два случайных открытия.

Инженер Р. Слейтерс фирмы Owens-Illinois Glass Company сделал первый шаг в направлении создания стеклопластика, когда он экспериментировал в поисках способа по наплавлению цветного торгового знака на поверхность бутылки. Когда он внес порошкообразное стекло в пламя, неожиданно образовался целый ворох нитей, подобных хлопку. Он и его коллектив использовали этот процесс для производства воздушных фильтров для вентиляционных устройств. Эти фильтры задерживали пыль гораздо лучше, чем традиционные на основе хлопка, и были достаточно недорогими, чтобы их можно было выбрасывать, когда они забивались пылью.

Фильтры были первым удачным промышленным продуктом из стеклянных нитей, однако сам процесс не получил широкого распространения. С его помощью можно было получать спутанную массу коротких грубых нитей, в то время как большинству потенциальных потребителей требовались длинные тонкие единичные нити. Наиболее важное продвижение к современному промышленному производству стекловолокна произошло, вероятно, в 1932 г. Д. Клейст, выпускник государственного университета в Огайо, решил использовать пистолет для распыления металла, который используется для расплавления бронзы и ее напыления на детскую обувь. Он заполнил пистолет вместо бронзы расплавленным стеклом и обнаружил, что пистолет выпускает сноп тончайших нитевидных стеклянных волокон. Специалисты сразу же поняли, что данный эффект может быть использован в производстве стеклянной шерсти для теплоизоляции и в других технологических процессах.

Фирма Corning Glass истратила миллионы долларов на разработку промышленных способов производства стекловолокна коммерческого качества. Базовый производственный процесс, применяющийся до настоящего времени, начинается со стеклянных шариков, являющихся сырьем для получения волокна. Использование шариков преследует две цели: шарики легко подавать в расплав с контролируемой скоро-

стью, что облегчает поддержание температуры расплава на заданном уровне, и, второе, в прозрачных шариках легко обнаруживаются примеси.

Стекло расплавляют в электрических печах и выдавливают через перфорированную металлическую пластину, называемую питательной фильерой или бушингом. Фильеру изготавливают из платины, платинородиевых сплавов или других редких материалов, поскольку расплавленное стекло обладает очень сильным размывающим действием, которому не способны противостоять большинство металлов [2]. Платина, имеющая достаточно высокую температуру плавления (1760 °C), позволяет нагревать стекло, размягчающееся в интервале 980–2100 °C до состояния текучести.

Для формирования непрерывных нитей, расплавленное стекло, после прохождения через мелкие отверстия фильеры подается на наматывающую машину, на которой нити растягиваются и уменьшаются в диаметре до 0,7–4,5 мкм. Сотни параллельных волокон собираются в большом стальном барабане, где они соединяются в тонкую нераскручивающуюся нить, наматываемую на бобины. С этого момента она может быть использована в традиционных процессах текстильного производства.

При более прогрессивном **одностадийном** способе волокна вытягивают из стекломассы, поступающей в выработку сразу из стекловаренной печи, питаемой шихтой, т. е. минуя промежуточную стадию выработки эрклеза (кускового стекла) и стеклянных шариков. Это позволяет сократить энергоемкость процесса почти в два раза. Эта стадия заменена операцией распределения потока стекла в распределителе стеклоплавильной печи по отдельным фильерным питателям.

Дополнительная обработка поверхности стекловолокна замасливателями производится для снижения образования пыли в процессе его использования и переработки, придания водоталкивающих свойств (гидрофобизации), для снижения поверхностной энергии и электризуемости, уменьшения коэффициента трения с 0,7 до 0,3, увеличения прочности при растяжении на 20–30%. Поверхностные свойства стекловолокна и капиллярная структура изделия определяют малую (0,2%) гигроскопичность для волокон и повышенную (0,3–4%) для тканей [3].

При производстве волокна для нетканых материалов операции соединения волокон в нить, раскладки или приема волокна или нити модернизируются в зависимости от вида и назначения материала.

Наиболее современной технологией производства стекловолокна владеют США, где используется, так называемый С-процесс. При этом способе вытягивание волокон производится из питателей, имеющих от 2000 до 4000 отверстий. Волокна вытягиваются со скоростью 750 м/с. Суточная производительность установок – 1080–1440 кг при использовании бушинов с 2000 отверстий и 2160–2460 кг при 4000 отверстий. Данное производство включено в перечень высоких технологий, на экспорт которых наложены серьезные ограничения. При обращении к США по вопросу закупки указанной технологии Россия получила отказ. Для сравнения – на оборудовании, установленном на российских предприятиях, максимальное число отверстий в фильерных пластинах – 800, скорость вытягивания – 10–100 м/с [3].

Для производства коротких нитей применяется другой процесс. В этом процессе используют вкладыш с отверстиями большего диаметра, через которые стекло протекает под действием силы тяжести. Как только стекло появляется на другой стороне вкладыша его обдувают струей пара или сжатого воздуха, что приводит к взрывному образованию тончайших нитей длиной 200–400 мм и толщиной около 6 мкм. Они падают на ленту конвейера, с которой их собирают для изготовления теплоизоляционных ковриков, матов, рулонных материалов и защитных покрывал.

Во многих отношениях стекловолокно ведет себя так же, как и обычное стекло. Оно отталкивает влагу, обладает высокой стойкостью к действию большинства кислот и щелочей, не подвержено воздействию почвы и содержащихся в ней микроорганизмов, не проводит электричество, не разлагается, не ржавеет, имеет малый коэффициент теплового расширения, не горит.

### СТЕКЛОПЛАСТИКИ

Уже упоминавшийся Р. Слейтерс и его коллектив установили, что стекловолокно, помещенное в различные твердеющие смолы, способно формировать легкий прочный и упругий материал, хорошо поддающийся формо-

ванию, способный заменить фанеру и листовой металл. По непонятной причине этот материал стали называть стекловолокном (fiberglass), хотя более правильно его называть пластиком, упрочненным стекловолокном (за рубежом получила распространение аббревиатура FRP – fiberglass reinforced plastic – упрочненный стекловолокном пластик). Испытания показали, что удельный предел прочности при растяжении для FRP, упрочненной тканью или матами (коротким пресованным стекловолокном), выше, чем у большинства металлов.

Настоящий успех в разработке технологий формования пришел в 1943 г., когда American Cyanamid предложила полиэфирную смолу под названием Laminac. Эта и другие полиэфирные смолы значительно упростили и ускорили процесс изготовления слоистого FRP-материала, поскольку при их применении не требовались высокие температуры и давление. Однако стоимость смолы и стекловолокна оставалась высокой. В 1945 г. промышленность США производила более 1,5 тыс. т FRP в год исключительно для военного комплекса, более конкретно – для кожухов антенн и радаров, которые должны надежно защищать оборудование, но свободно пропускать радиоволны.

Первый автомобиль с корпусом из FRP появился в апреле 1944 г., после того как произошла встреча инженеров Стаута и Слейтерса, построившими свой автомобиль «Скарабей» с корпусом, полностью изготовленным из FRP. Даже рама была сделана из FRP. Единственными металлическими деталями были дверные петли, замки, ободки фар, подmotorная рама и детали подвески.

В след за Скарабеем последовали десятки, если не сотни, моделей автомобилей в кузовах из FRP в практически во всех странах, имеющих развитое автомобилестроение. Увлечение стеклопластиковыми кузовами продержалось до середины 1960-х и затем пошло на спад. Это объясняется тем, что промышленные технологии оказались слишком малопродуктивными для массового производства кузовов. Чтобы понять причины этого, нужно рассмотреть основные стадии изготовления корпусных изделий из стеклопластика.

Существует несколько способов формирования стеклопластиковых изделий, требующих больших затрат ручного труда и полностью ав-

томатизированных, выполняемых практически без участия человека.

### РУЧНОЕ ФОРМОВАНИЕ

Ручное формование основано на размещении (раскладке) материалов в открытой одно-сторонней форме, являющейся матрицей для воспроизведения геометрии создаваемого изделия (рис. 1). Матрица может быть изготовлена практически из любого материала, начиная деревом и заканчивая металлом. В настоящее время широкое распространение получили стеклопластиковые матрицы, которые имеют сравнительно небольшую стоимость и длительный срок службы.

Процесс состоит из последовательного создания на внутренней поверхности матрицы следующих слоев:

- разделительный агент;
- гелькоут;
- слой жидкой полимерной смолы;
- армирующий слой в виде стекломата или стеклоткани.

Пропитка армирующего слоя производится вручную с помощью валика или кисти. Эта операция повторяется для каждого армирующего слоя с тем, чтобы получить требуемую толщину изделия.

В обычном процессе формования вначале отшлифованную поверхность обрабатывают воском, шлифуют и с помощью распылителя или кисти покрывают гелькоутом. **Гелькоут** – декоративно-защитное полимерное покрытие, формируемое на поверхности изделия с целью его защиты от воздействия окружающей среды, ультрафиолетового излучения и придания декоративных свойств. По окончании формования изделия обращенный к матрице слой гелькоута станет его лицевой поверхностью. После нанесения гелькоута может применяться отверждение в нагревательной камере при температуре около 50 °С.

Армирующее стекловолокно вручную пропитывают смолой при помощи кисти или валиков. Затем пропитанный стекломат укладывают в форму и прикатывают прикаточными валиками. Прикатка осуществляется с целью удаления из создаваемого слоя – ламината – воздушных включений, равномерного распределения смолы и уплотнения слоя. Отверждение ламината происходит при комнатной температуре, и по

его завершении, изделие извлекают из формы и подвергают механической обработке (обрезка обля, высверливание отверстий и т. д.). Любой предмет, изготовленный этим способом, обычно имеет гладкую поверхность только с одной стороны (обратная сторона изделия – не соприкасающаяся с матрицей, получается достаточно неровной и шероховатой).

В настоящее время существует целый ряд различных смол, используемых в производстве стеклопластиковых изделий. Наибольшее распространение получили полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы, которые подразделяют по назначению, учитывающему способ формования и условия эксплуатации готового изделия.

### СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Стеклопластики обладают свойствами, или, точнее, таким их сочетанием в одном материале, которое позволяет создавать конструкции с уникальными характеристиками, не доступными при использовании других материалов:

- стойкостью к атмосферным воздействиям, ультрафиолетовому излучению и водной среде;
- высокой коррозионной, химической, электрохимической и биологической стойкостью;
- более низкой токсичностью газов, выделяемых при горении по сравнению с древесиной;
- достаточно широким диапазоном рабочих температур – от –60 °С до +80 °С);
- радиопрозрачностью;
- низким водо- и влагопоглощением.

Стеклопластики являются прекрасными электроизоляционными материалами.



Рис. 1. Ручное формование ламината

**Механические свойства**

При небольшой плотности стеклопластики обладают высокими физико-механическими характеристиками (Табл. 1). Используя некоторые смолы и определенные виды армирующих материалов, можно получить стеклопластики, по своим удельным прочностным характеристикам превосходящие некоторые сплавы цветных металлов и сталь. Механические свойства стеклопластика определяются преимущественно характеристиками наполнителя и прочностью его связи со связующим материалом.

Наибольшей прочностью и жесткостью обладают стеклопластики, содержащие ориентированно расположенные непрерывные волокна. Такие стеклопластики подразделяются на однонаправленные и перекрестные. В первом случае волокна располагаются параллельно, а во втором – под углом друг к другу, который поддерживают постоянным или изменяют в различных частях изделия, управляя механическими и другими характеристиками конструкции.

При изготовлении стеклопластики хорошо окрашиваются в любой цвет и при использовании стойких красителей могут сохранять его неограниченно долго. Применение некоторых марок светопрозрачных смол позволяет изготавливать стеклопластики по оптическим свойствам, незначительно уступающим стеклу.

Несмотря на технологические ограничения, производство изделий из стеклопластиков продолжает расширяться. В первую очередь это объясняется особыми свойствами стеклопластика и широким спектром технических проблем, которые могут быть решены при его использовании.

В соответствии с назначением изделий и предъявляемым к ним требованиям разрабо-

таны технологии для изготовления конкретных видов продукции, улучшающие ее качество, позволяющие автоматизировать процесс и оптимизировать рентабельность производства. В связи с этим применение стеклопластиков целесообразно рассматривать совместно с технологиями его производства.

**ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ**

При ручной раскладке, кроме затрат времени на формирование ламината, требуется время и на то, чтобы созданный слой стеклопластика затвердел и приобрел свойства готового изделия. Все перечисленные операции занимают значительно больше времени, чем изготовление подобных изделий штамповкой листового металла. Поэтому производство пространственных конструкций не получило широкого распространения в массовом производстве, как и изготовление стеклопластиковых кузовов в автомобилестроении.

Ручное формование выгодно применять для изготовления крупных изделий с относительно простой геометрией поверхности, площадь которой может достигать десятков квадратных метров. Несмотря на низкую производительность, данная технология достаточно широко применяется благодаря низкому уровню затрат на прессформу (матрицу) и инструмент, отсутствию высоких требований к квалификации персонала, а главным образом, благодаря возможности удовлетворения спроса на единичные нестандартные изделия, отвечающие специфическим требованиям индивидуальных заказчиков.

Высокая стойкость стеклопластиков против воздействия агрессивных сред делает их

Таблица. 1

Физико-механические свойства различных материалов

Физико-механические свойства	Стеклопластик	ПВХ	Сталь	Алюминий
Плотность, т/м <sup>3</sup>	1,6–2,0	1,4	7,8	2,7
Разрушающее напряжение при растяжении, МН/м <sup>2</sup>	410–1180	41–48	410–480	80–430
Предел прочности при изгибе, МН/м <sup>2</sup>	690–1240	30–110	400	275
Модуль упругости при растяжении, ГПа	21–41	2,8	210	70
Коэффициент линейного расширения, 10–6°С <sup>-1</sup>	5–14	54–75	11–14	2,2–2,3
Коэффициент теплопроводности, Вт/м×К	0,3–0,35	0,3	46	140–190

незаменимым материалом для изготовления крупных корпусных изделий: бассейнов, емкостей, резервуаров, цистерн, контейнеров, водоохлаждающих устройств градирен, контейнеров и многих других оболочковых конструкций.

Для повышения производительности ручной раскладки используют устройства механизированной подачи смолы и армирующего материала, основанные на применении специальных распылителей.

При нанесении покрытия распылением, после отверждения гелекоута, на поверхность матрицы распыляют катализированную<sup>1</sup> смолу, обычно полиэфирную или винилэфирную вязкостью 0,5–1 Па·с, одновременно подавая рубленое стекловолокно. Специальный пистолет рубит стекловолоконный жгут (обычно из бесщелочного стекла типа Е) непосредственно в струю распыляемой смолы, в результате чего все компоненты стеклопластика одновременно распределяются по матрице (рис. 2).

Данная технология практически не применяется для изготовления ответственных деталей, так как изготавливаемые изделия имеют низкую удельную прочность, обусловленную низким содержанием армирующего компонента в ламинате. Кроме того, при использовании такого оборудования происходит разбрызгивание материала за пределы пресс-формы.

Ручная раскладка широко применяется для изготовления ответственных изделий – в первую очередь, в авиационной и космической промышленности.

Однако для улучшения прочностных характеристик и надежности необходимо обеспечить контролируемое равномерное, надлежащим образом ориентированное, распределение смолы и армирующего материала по всему изделию, а также увеличить долю стекловолокна в пластике до 50 и более процентов, что достигается с помощью специальных технологий и оборудования.

### ВАКУУМНОЕ ФОРМОВАНИЕ

**Формирование с помощью вакуумного мешка** по существу является развитием технологии ручной раскладки, в которой к пропитанному смолой ламинату прилагается давление для получения более качественной структуры

при отверждении. С этой целью влажный ламинат, разложенный на матрице, накрывают пластиковой пленкой, прижимая ее края к уплотнителю, расположенному по контуру изделия, и таким образом создают замкнутое герметичное пространство. При откачке воздуха пленка под действием внешней атмосферы прижимается к ламинату под давлением, которое в зависимости от степени разряжения и качества герметизации в той или иной мере приближается к атмосферному. Разряжение до 0,14–0,95 атм. может сочетаться с подогревом ламината до 180 °С (рис. 3). Между ламинатом и пленкой располагают дополнительные слои материала, служащие для облегчения отделения изделия от матрицы и впитывания излишков смолы. Для равномерного вакуумирования (устранения замкнутых зон с неоткаченным воздухом) под пленкой располагают слой газопроницаемого материала со структурой, подобной войлоку.



Рис. 2. Устройство для распыления смолы и стекловолокна при ручном формовании

<sup>1</sup> Смола, в которую перед использованием ввели катализатор – реагент, обеспечивающий отверждение смолы

Применение вакуумирования позволяет существенно повысить прочность изделия при одновременном снижении его массы. Кроме этого, при использовании вакуумного мешка снижается выделение вредных веществ в атмосферу.

Однако раскладка материала во влажном состоянии имеет существенный недостаток – ограниченность времени, которое может быть выделено на укладывание материала в пресс-форму. Многие смолы сохраняют жидкое состояние в течение 30 мин, некоторые – в течение 2 ч, после чего начинается процесс полимеризации, и ламинат теряет податливость. В связи с этим, формование изделий больших размеров или сложной формы, требующих значительного времени на укладку, сильно затруднено.

**Трансферное формование** подразделяется на две основные технологии: формование в закрытую форму (RTM – Resin Transfer Moulding) и формование в открытую форму с применением вакуумирования (VARTM–Vacuum assisted resin transfer molding или VIP- Vacuum infusion process (Вакуумная инфузия)).

**Технология RTM** основана на инъекции смолы в закрытую форму, состоящую из матрицы и ответной формы – пуансона. Между матрицей и пуансоном укладывают сухой, предварительно раскроенный материал из стекловолокна: стеклоткань, стекломат или дру-

гой вид армирующего материала. Выкладка сухого материала снимает ограничения на продолжительность ее выполнения. С помощью специального оборудования в закрытую форму под давлением (3–5 атм.) инжектируется смесь полимерной смолы и отвердителя. После отверждения готовое изделие извлекают из формы и подвергают, если требуется, механической обработке (рис. 4).

Технология изготовления стеклопластика методом инъекции в закрытую форму требует значительных финансовых затрат на установку для инъекции смолы, вспомогательное оборудование и на изготовление достаточно сложной оснастки для формования. Тем не менее, этот метод обладает существенными преимуществами по сравнению с ручной формовкой или технологией напылением:

- внешняя и внутренняя стороны изделия имеют гладкую поверхность;
- отход материалов незначителен;
- высокая точность изготовления и воспроизводимость параметров изделий;
- доля армирующего материала достигает 65% от объема изделия;
- отсутствие воздушных включений в структуре изделия;
- увеличение производительности в 5–20 раз по сравнению с другими технологиями вакуумного формования;

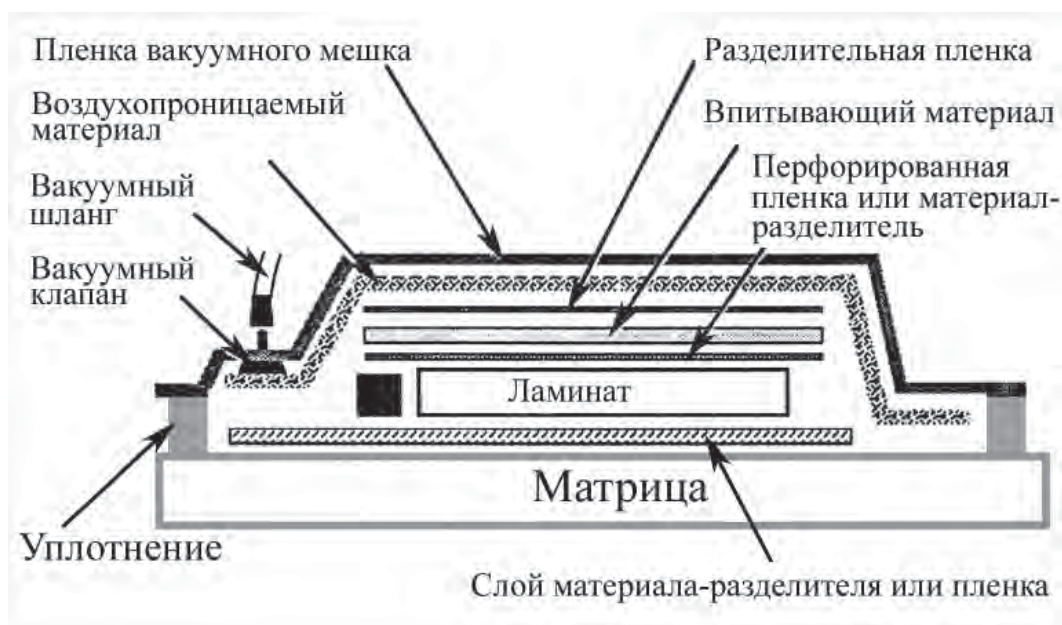


Рис. 3. Схема формования с помощью вакуумного мешка

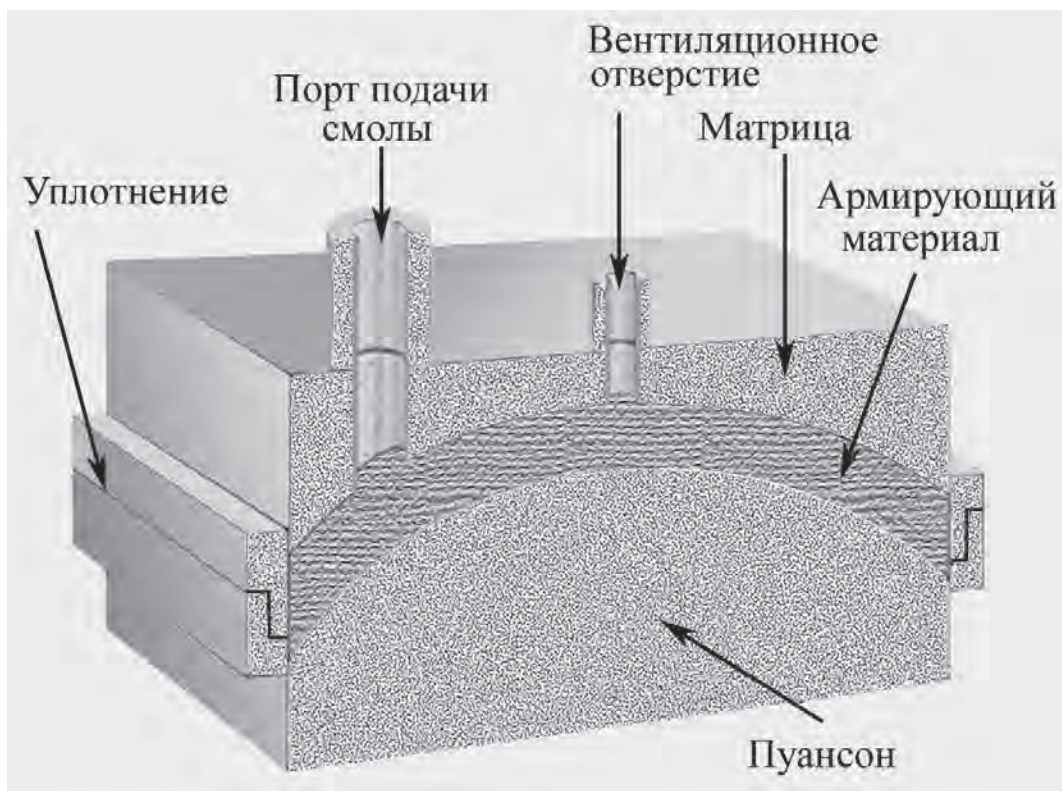


Рис. 4. Схема процесса формования изделия в закрытой форме (Технология RTM)

– значительное снижение выделений вредных веществ в атмосферу и улучшение условий труда.

RTM допускает использования самых различных форм инструментальной оснастки: от недорогих пресс-форм из композиционных материалов до металлических матриц с контролируемой температурой нагрева. Процесс может быть автоматизирован, а для повышения эффективности инжективного формования смолы может использоваться дополнительное вакуумирование.

**Вакуумная инфузия**, являющаяся разновидностью формования с помощью вакуумного мешка, также как и технология RTM, основана на использовании «сухого» армирующего материала. В этом случае смолу подают в пресс-форму только после того, как воздух откачают из мешка, и сухой ламинат примет компактную форму (рис. 5). Данный способ формования относится к процессам, в которых в полости пресс-формы создается давление ниже атмосферного, что приводит к затягиванию смолы из резервуара для ее хранения в ограниченное мешком пространство.

Пресс-форму можно покрывать гелекоутом как в обычном процессе. После того, как гелекоут затвердеет, в пресс-форму раскладывают сухой армирующий материал, а также проводящее смолу полотно и, если необходимо, материал-заполнитель. Перфорированную разделительную пленку укладывают поверх армирующего материала. Затем располагают проницаемый для смолы и воздуха материал, представляющий собой крупную сетку или гофрированный материал, и проводку из перфорированных трубок для распределения смолы по ламинату. В конце раскладывают вакуумный мешок и прикрепляют его через уплотнение к пресс-форме. Контейнер со смолой соединен патрубком в вакуумном мешком. После откачки воздуха и уплотнения ламината, смола начинает втягиваться в пресс-форму, пропитывая армирующий материал.

Вакуумная инфузия позволяет получать ламинат с хорошим наполнением стекловолокном и исключительно высокими механическими свойствами. Она может применяться для создания очень крупных объектов, при этом ее принято относить к разряду низкотратных процессов.



Пленка вакуумного мешка

Сетка для выхода воздуха и распределения смолы

Разделительная пленка

Самоклеющаяся лента

Каналы подачи смолы

Уплотнительная лента вакуумного мешка

Разделительный материал

Ламинат (деталь)

Соединения и патрубок для создания вакуума и втягивания смолы

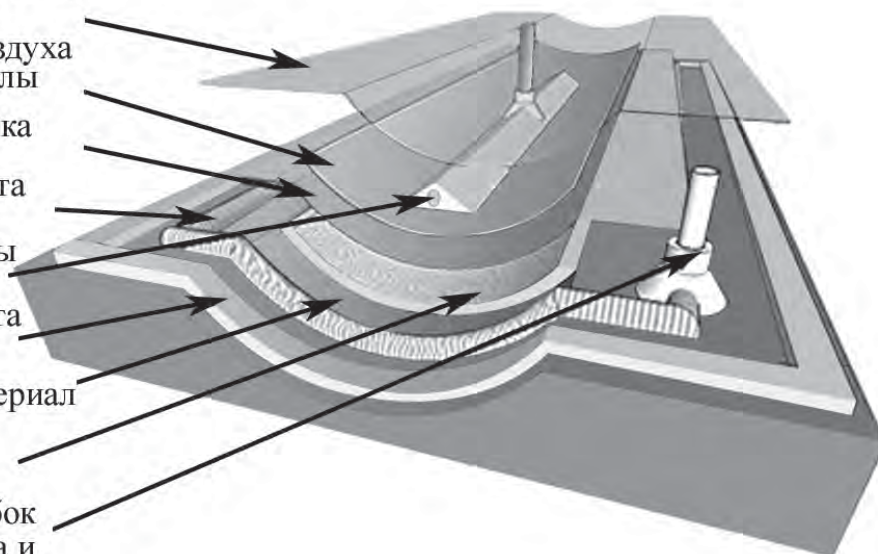


Рис. 5. Формование изделий методом вакуумной инфузии

В отличие от других методов, в которых смола сначала наносится, а потом удаляются ее излишки, при использовании инфузии в ламинат поступает только необходимое количество смолы. После заполнения пресс-формы, лишняя смола поступает в вакуумную линию, где собирается в специальную емкость для повторного использования. В результате снижается масса изделия и расход смолы.

По имеющимся сведениям, применение вакуумирования позволяет повысить содержание волокна в пластике до 70%.

В то время как в процессе RTM используется пресс-форма, состоящая из двух половин, формование методом вакуумной инфузии выполняется в открытой пресс-форме, что очень удобно для изготовления крупных изделий ответственного назначения, например, деталей авиационной и космической техники.

Доля композиционных материалов, применяемых в строительстве авиационной техники, постоянно увеличивается, поскольку инженеры-механики стремятся использовать все преимущества этого материала в отношении «масса-прочность». Среди первых примеров удачной реализации этой проблемы следует отметить создание в 1993 г. стеклопластиковой лопасти «ветряка» длиной 29 м, которое выдержи-

ло испытания по всем требованиям, предъявляемым к наземным конструкциям. По «генетическому коду» можно со всей очевидностью можно предположить, что это изделие было порождением усилий военных механиков-авиаторов, разработки которых (как и других специалистов различного профиля), спустя некоторое время, становятся предметами широкого потребления.

Современное самолетостроение идет теми же путями, что и создатели почти забытых аппаратов «воздушного плавания», которые для облегчения машины вынуждены были использовать бумагу, ткань, фанеру и, а сегодня – различные композиционные материалы: (рис. 6):

- доля композитов в общей массе материалов, %;
- Аэробус А380–22%;
- Боинг 787 – до 60%;
- Военные более – 40%.

Время судов «воздухоплавательного класса» прошло (набегающий поток воздуха разогревает лобовую часть крыла военного самолета до нескольких сот градусов), надводные (и подводные) судна движутся со скоростью, обычно устанавливаемой на магистралях для автомобильного транспорта, и тем не менее, проблема создания конструкций для дви-



Рис. 6. использование композитных материалов в авиалайнере «Боинг 787»

жения в однородной среде или на границе двух сред будет еще долго, если не всегда, оставаться одной из самых актуальных для решения инженеров.

Инженеры-технологи всесторонне оценили преимущества стеклопластиков и не упустили возможности автоматизировать этот процесс. (Следующий номер журнала).

2. R. McCormick. Наблюдения и комментарии разработчика бушинговых систем по поводу производства бушингов для выработки стеклянных волокон// Первая международная конференция «Производство оборудования из благородных металлов и его применение в химической и силикатной промышленности», Берлин, Германия, Май 23–27, 2005.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M. Lamm. The Fiberglass Story// Invention & Technology Spring, 2007, Vol. 22, Issue 4.

<http://www.ugfm.ru/Page226.html>

#### **«Салаватнефтеоргсинтез», запускает производство полиэтилена высокой плотности**

«Салаватнефтеоргсинтез», дочернее предприятие ОАО «Газпром», запускает производство полиэтилена высокой плотности/ПЭВП/мощностью 120 тыс. т. в год.

Стоимость проекта составила 6,3 млрд. руб. Оборудование на российское предприятие было поставлено итальянской фирмой Tecnimont S. p. A. на основании контракта по лицензии американской LyondellBasell. Важно отметить, что освоенная технология позволяет выпускать марки полиэтилена, которые до последнего времени российским компаниям приходилось импортировать. Такой полиэтилен необходим для изготовления высококачественных газовых и водопроводных труб, крупных емкостей и контейнеров, баков для диатермического масла, бензобаков, изделий, получаемых литьем под давлением, кабельной изоляции.

Основное сырье для производства – этилен – выпускается непосредственно на «Салаватнефтеоргсинтезе» как и некоторые другие необходимые ингредиенты. В то же время рассматривается возможность строительства на территории салаватского нефтехимического комплекса установок для выпуска таких дополнительных компонентов, как бутен и желто-черный концентрат.

С выходом на полную загрузку нового производства Салават сможет обеспечить свыше 12% производства отечественного полиэтилена, что позволит предприятию значительно усилить свои позиции, как на российском, так и на зарубежных нефтехимических рынках.