



Композитные материалы в железнодорожном машиностроении



▶ ЧТО ТАКОЕ СТЕКЛОПЛАСТИК



Стеклопластик — это обобщенное название композитных материалов, получаемых на основе полимерного связующего и разнообразных наполнителей и добавок, используемых для получения требуемых свойств состава.

Стеклопластики широко распространены в строительной индустрии, производстве конструктивных деталей, труб, корпусов маломерных судов и многого другого. Имеющееся в качестве компонента материала стекловолокно выполняет армирующую функцию, обеспечивающую высокие физико-механические характеристики стеклопластика. Полимерные смолы служат для соединения наполнителей в стабильную монолитную систему.



Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на протяжении 70 лет находят применение в различных областях техники, в том числе и в транспортном машиностроении. Отличаясь рядом выгодных свойств, они успешно конкурируют с традиционными сталями и цветными сплавами, а в некоторых отраслях промышленности являются практически незаменимым материалом.

Впервые двухкомпонентный композит из стеклянного волокна и затвердевающего состава был использован в Великобритании во время Второй мировой войны, когда появилась задача создания легкого, прочного и радиопрозрачного обтекателя для радиолокационных станций самолетов. С того времени в массовую эксплуатацию поступили гражданские и военные самолеты с крыльями из композиционных материалов, автомобили и трамваи с кабинами и кузовами из стеклопластика, корабли и суда с неметаллическими корпусами.

В то же время использование композиционных материалов в кузовных конструкциях железнодорожного подвижного состава на сегодняшний день невелико и ограничено стеклопластиковыми обтекателями кабин грузовых и пассажирских локомотивов и высокоскоростных поездов. При этом стеклопластик широко применяется при изготовлении облицовок боковых стен и санузлов и других элементов интерьера и экстерьера.

Одной из основных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, является увеличение грузоподъемности за счет снижения массы тары. Применение стеклопластика в конструкциях подвижного состава позволяет решить эту задачу лучшим образом.

К существенным преимуществам использования стеклопластика можно также отнести: увеличение срока службы вагона за счет высокой коррозионной стойкости, сокращение трудоемкости при изготовлении и обслуживании в эксплуатации. Особенности технологии стеклопластиков, а также их физико-механических свойств определяют большие экономические преимущества их применения по сравнению с применением других строительных материалов. Прежде всего наблюдается значительный эффект от снижения объема капитальных затрат: капитальные вложения на создание производственной мощности, необходимой для выпуска 1 тонны стеклопластиков будет по предварительным данным примерно в 1,5 раза меньше, чем для 1 тонны стали, а также значительно меньше, чем для производства 1 тонны алюминия, меди и других металлов.

Стеклопластики обладают высокой механической прочностью. Удельная прочность, т.е. прочность отнесенная к удельному весу материала, стеклотекстолита и анизотропных стекловолокнистых пластиков, не уступает, а иногда и превышает удельную прочность стали, дюралюминия и титана. Недостатками стеклопластиков являются сравнительно небольшая жесткость и небольшое значение предела прочности при сжатии вдоль слоев.



Причины применения стеклопластиков взамен традиционных материалов

Стеклопластики эффективно конкурируют с такими конструкционными материалами, как алюминий, титан, сталь. К отраслям, активно использующим композиционные материалы, относятся авиация, космонавтика, наземный транспорт, химическое машиностроение, медицина, спорт, туризм, образование. Композиты используются для производства автомобилей, объектов железнодорожного транспорта, самолетов, ракет, судов, яхт, подводных лодок, емкостей для хранения различного рода жидкостей, трубопроводов, стволов артиллерийских орудий. Материалы, разработка которых первоначально осуществлялась по заказам военных ведомств, в первую очередь для применения в летательных аппаратах, внедрены во многих отраслях гражданской промышленности.

Применение стеклопластиков обусловлено как уникальными характеристиками материала, так и его технологическими свойствами, открывающими огромные возможности для дизайна интерьеров и экстерьеров железнодорожного подвижного состава за счет того, что изделиям из стеклопластика можно придать любую форму, обеспечивающую как современный дизайн, так и функциональные возможности изделия.





Причины применения стеклопластиков

взамен традиционных материалов



Стеклопластик, помимо уникальных свойств формообразования, обладает многими очень ценными характеристиками, что в совокупности делает очень привлекательным материалом применение изделий интерьера и экстерьера из него в железнодорожном транспорте:

Характеристика	Свойства
Малый вес.	Удельный вес стеклопластиков колеблется от 0,4 до 1,8 и в среднем составляет 1,1 г/см ³ (стали – 7,8, алюминия – 2.8 г/см ³)
Диэлектрические свойства.	Стеклопластики являются прекрасными электроизоляционными материалам.
Высокая коррозионная стойкость.	Стеклопластики не подвержены электрохимической коррозии. Выбор смолы позволяет получить стеклопластики, стойкие к различным агрессивным средам, в том числе концентрированных кислот и щелочей.
Хороший внешний вид.	Декоративная поверхность изделия из стеклопластика формируется либо непосредственно при изготовлении, либо последующей отделкой и окраской.
Высокие механические свойства.	При небольшом удельном весе стеклопластик обладает высокими физико-механическими характеристиками. Используя некоторые смолы и определённые виды армирующих материалов, можно получить стеклопластик, по своим прочностным свойствам превосходящий некоторые сплавы цветных металлов и стали.
Теплоизоляционные свойства.	Стеклопластик относится к материалам с низкой теплопроводностью.
Простота в изготовлении.	Существует много способов изготовления стеклопластиковых изделий, большинство из которых требует минимальных вложений в оборудование.
Широкий температурный диапазон эксплуатации.	Стеклопластиковые изделия могут эксплуатироваться в диапазоне от -40 до +60°C
Высокая повторяемость и точность изделий.	При изготовлении стеклопластиковых изделий стабильность формы и размеров обеспечивается оснасткой и строгим соблюдением технологического процесса.
Хорошие показатели по пожарной безопасности.	Стеклопластик удовлетворяет всем требованиям пожарной безопасности, установленным нормативными документами для железнодорожного подвижного состава.
Высокие санитарно-гигиенические характеристики.	Стеклопластик полностью соответствует санитарно-гигиеническим требованиям законодательства РФ и стран ЕАЭС.



Как и любой другой материал стеклопластик имеет не только плюсы при использовании, но и минусы. К минусам можно отнести следующие особенности стеклопластика:

- Металлические изделия можно соединить сваркой, а стеклопластиковые механическим креплением и клеей
- В отличие от металла полимерная связующая стеклопластика склонна охрупчиваться при низких температурах
- Модуль упругости меньше чем у стали. Для исключения деформаций толщина изделия при прочих равных условиях должна быть больше. Тем не менее за счет конструкционных решений вес изделий меньше, чем у стальных.
- В динамически высоконагруженных конструкциях возможна потеря прочности в точках крепления.
- При механической обработке стеклопластика образуется стеклянная пыль, что требует использования средств защиты для задействованного персонала.

Так же минусы стеклопластика связаны с утилизацией. На сегодняшний день не в полной мере решен вопрос вторичного использования стеклопластика и его компонентов - большая часть отработавшие свой срок изделия и отходы производства стеклопластика захораниваются на полигонах.

Тем не менее в РФ ведутся разработки по переработки композитных материалов и в частности стеклопластика. Основные направления это:

- измельчение и сжигание в цементных печах, в результате чего органические вещества при сгорании дают дополнительную энергию, а измельченное стекловолокно входит в состав цемента;
- измельчение и добавление в асфальт при его производстве;
- пиролиз стеклопластиковых изделий с получением неизмельченного волокна и использования его при изготовлении фибробетона.



С участием КСК разрабатывается экологически чистый метод утилизации стеклопластика, основанный на пиролизе. В рамках разработки метода оцениваются в том числе и применение материалов, полученных в процессе утилизации. Работы находятся на этапе создания опытной установки. Установка планируется к изготовлению отечественным производителем. Направлена заявка в ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» на получение гранта.



Примеры изменений элементов интерьера пассажирского подвижного состава обусловленная поэтапным внедрением в конструкцию стеклопластиковых изделий

Облицовка боковых стен вагонов локомотивной тяги





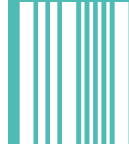
Примеры изменений элементов интерьера пассажирского подвижного состава
обусловленная поэтапным внедрением в конструкцию стеклопластиковых изделий

Салоны электропоезда





Примеры изменений элементов интерьера пассажирского подвижного состава
обусловленная поэтапным внедрением в конструкцию стеклопластиковых изделий



Входные группы электропоезда





Изделия изготавливаемые с применением стеклопластика

Облицовка боковых стен

Элементы интерьера салонов

Интерьер кабин машиниста

Экстерьер (маска) кабин подвижного состава

Корпуса оборудования



Облицовки боковых стен

Боковая стена облицована фанерой с отделкой ДБСП



На боковую стену установлена облицовка из стеклопластика.



Ограждения входной группы выполнены из металлического листа



Ограждения входной группы выполнены панелями из стеклопластика



Было
ЭП1



Стало
ЭП1М



«Ермак» 2ЭС5К



«Ермак» 3ЭС5К



«Ермак» 3ЭС5К
для Забайкальской
железной дороги



«Ермак» 3ЭС5К
для
НефтеТрансСервис



ТЭМ23



3ТЭ25К 2М



81-775/776/777
«Москва-2020»



ЭР1



Иволга 1.0



Иволга 3.0



ЭР2



ЭП2Д



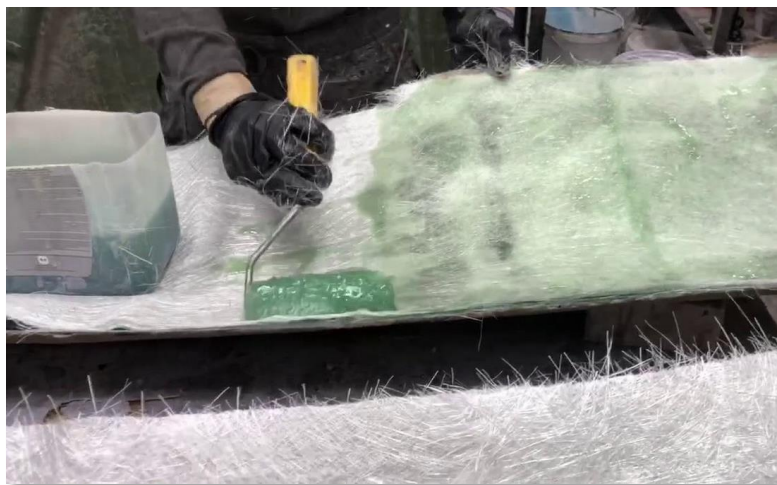
ЭП2ДМ



Технологии изготовления стеклопластиков

- 1 Контактное (ручное) формование
- 2 Light RTM
- 3 Flex molding
- 4 SMC и BMC (препреги)
- 5 Инфузия



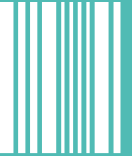


Данный способ предусматривает пропитку стеклянного волокна полимером при помощи ручных приспособлений и инструментов: валиков и кистей. Получаемый таким образом полуфабрикат называется стекломатом. Затем его формуют при помощи раскаточных валиков, в результате чего из состава удаляются воздушные пузыри.

После отвердевания мат извлекается из формы и подвергается окончательной обработке: удалению грата, созданию отверстий и пазов, шлифованию. При ручном формовании допускается применение практически любых смол и видов стекловолокна, которые технологически сочетаются друг с другом.

В настоящее время детали по этому методу изготавливаются с отделкой лицевой стороны гелкоутом. При этом допускается только обрезка по контуру. В случае отделки структурными эмалями возможна механическая обработка изделий (отверстия, проёмы, посадочные места).





Достоинства



- Отсутствие дорогостоящего оборудования.
- Большой ассортимент подходящих компонентов, их невысокая стоимость.
- Изготовление изделий простых и сложных форм.
- Достаточно большой процент ввода стекловолокна.



Недостатки

- Невысокая производительность,
- Работа во вредной для здоровья среде, необходимость СИЗ и систем очистки воздуха.
- Высокая зависимость качества готовой продукции от квалификации рабочего,
- Геометрические размеры изделия должны контролироваться в процессе изготовления,
- С большой вероятностью внутри материала могут оставаться включения воздуха.
- Невозможность получения двусторонних деталей и соблюдения толщины на фланцах и в посадочных местах.

Контактное (ручное) формование кабины Иволга 3.0



1 Ручное формование

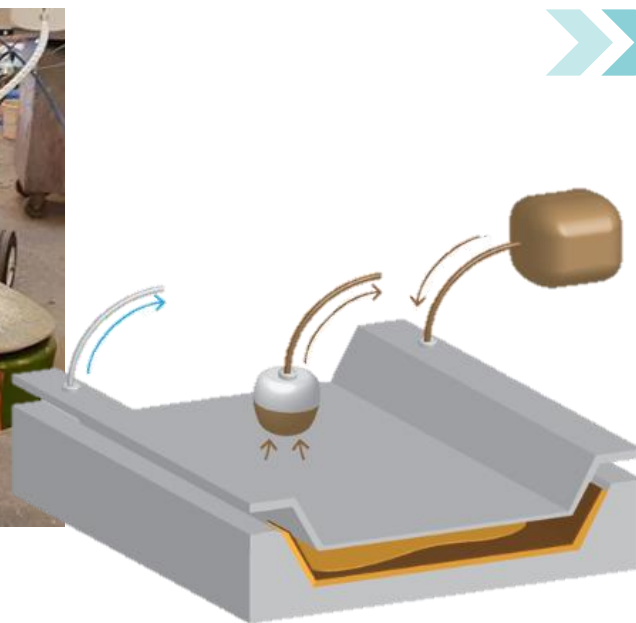
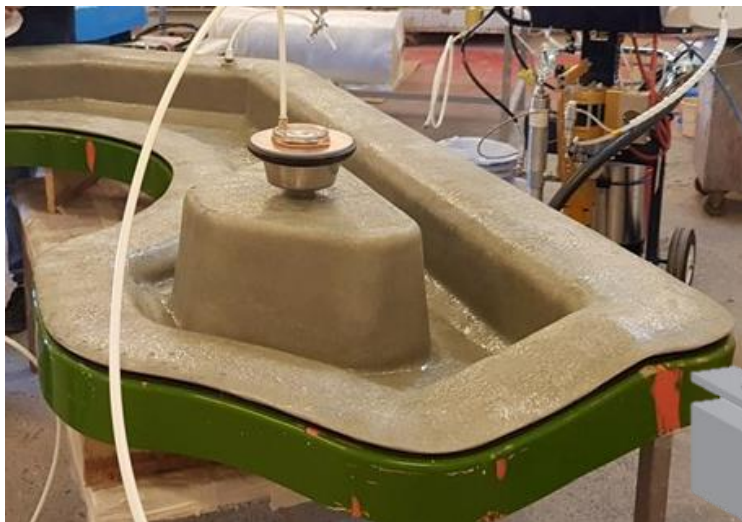
Обзор технологий

ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНА
ООО КСК

22

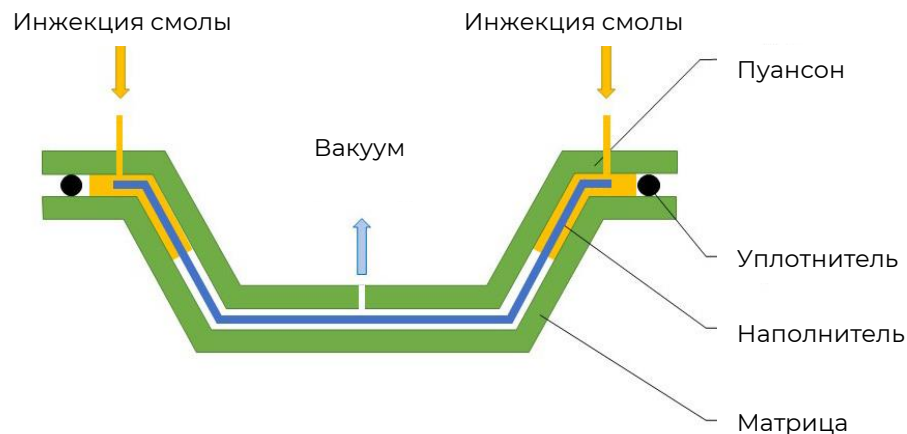
Контактное (ручное) формование кабины локомотива «Ермак»





Light RTM отличается от RTM тем, что прижим матрицы и пуансона осуществляется с помощью вакуума, а пуансон представляет собой легкий позитивный оттиск матрицы. Заготовки сухого стекловолокна или углеволокна укладывают в форму. Затем, форму с заготовками герметично укрывают пленкой или эластичной мембраной, под которой создают разрежение. Связующее заполняет форму и пропитывает армирующий материал.

Пропитка смолой в данном процессе происходит медленнее, чем при RTM. Конечный продукт содержит высокий процент стекловолокна и мало воздушных пузырьков

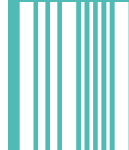


**Достоинства**

- Высокий процент стекловолокна и низкий – газообразных включений, хорошие прочностные свойства и низкая себестоимость, а также экологичность;
- Гладкая поверхность с обеих сторон;
- Меньше затраты на оборудование по сравнению с RTM.

Недостатки

- Сложность процесса;
 - Необходимость иметь инжекционное оборудование;
- По сравнению с RTM:
- Медленнее происходит пропитка;
 - Меньше срок службы оснастки;
 - Ниже производительность;
 - Сложнее выдержать точные размеры.



Изготовление облицовочных панелей для Иволга 3.0 методом Light RTM

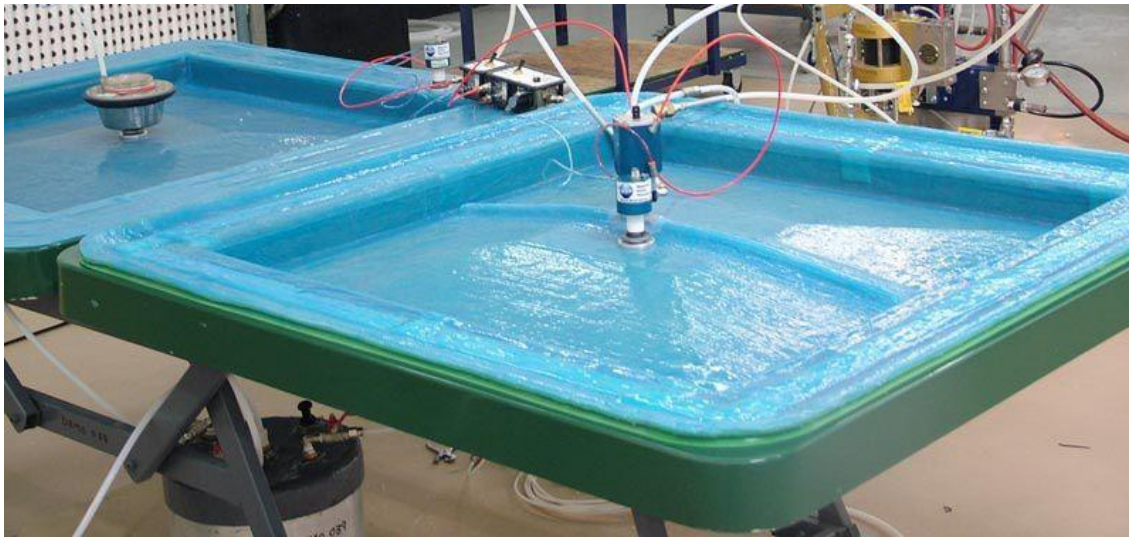


3 Flex molding

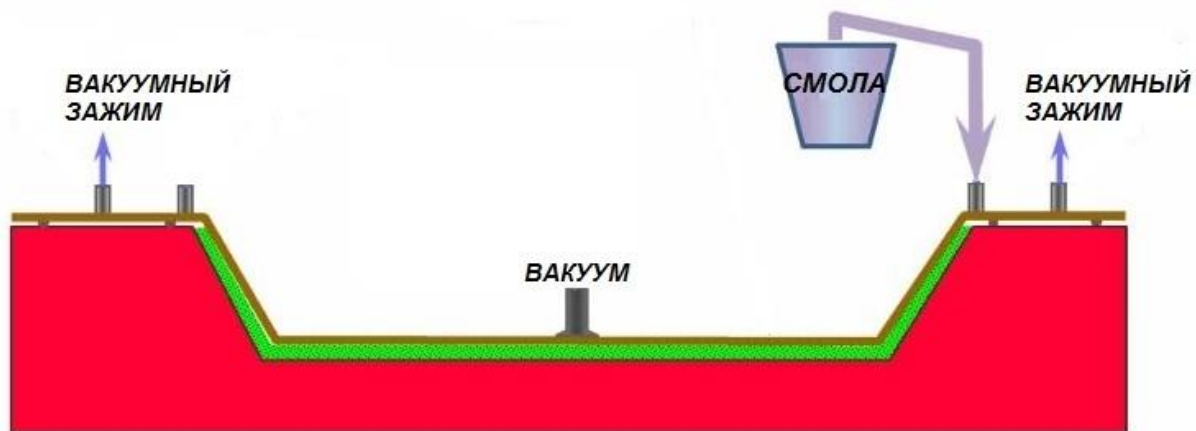
Обзор технологий

технология освоена
ООО КСК

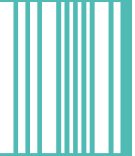
26





Технология Flex Molding — это возможность изготавливать детали методом инфузии при использовании инжекционной установки, которая подсоединяется через пневматические приспособления, расположенные на вакуумной плёнке или мембране многократного использования (гибкий пуансон).



Использование технологии Flex Molding обеспечивает увеличение контроля и безопасности в процессе производства, а также снижение расхода сырьевых материалов. Позволяет производить детали с высоким стеклонаполнением 50-70%. При использовании данной технологии можно изготавливать изделия с обратными углами.

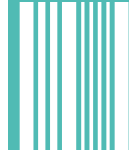


Достоинства 	 Недостатки
<ul style="list-style-type: none">▪ Высокий процент стекловолокна (50-70%) и низкий – газообразных включений, хорошие прочностные свойства и низкая себестоимость, а также экологичность;▪ Низкий расход сырьевых материалов;▪ Возможность производства изделий с обратными углами.	<ul style="list-style-type: none">▪ В отличие от RTM, получается изделие, имеющее только одну сторону с гладкой поверхностью;▪ Пропитка смолой происходит медленнее, чем при RTM.

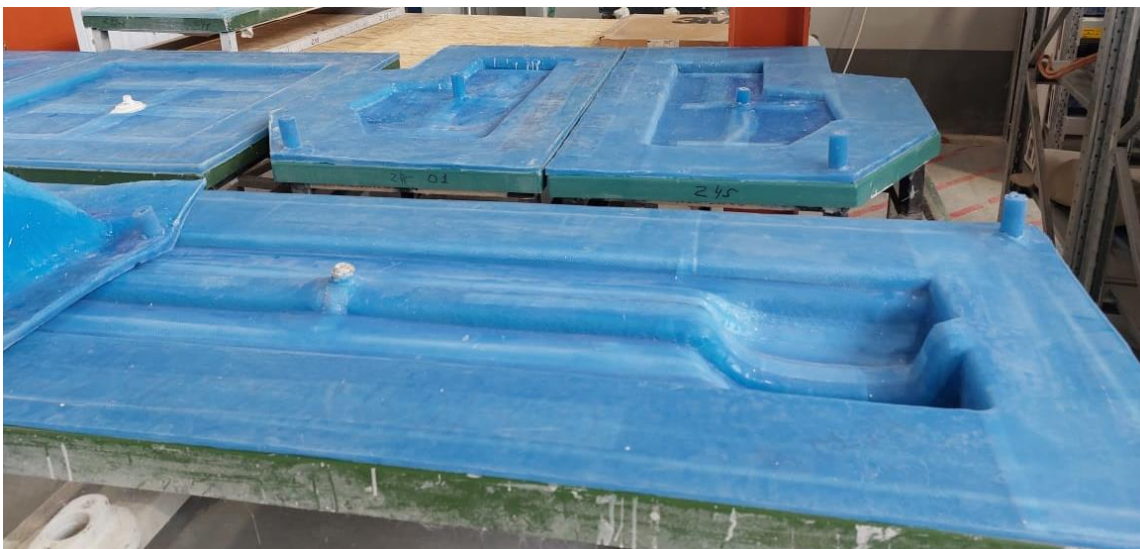
3 Flex molding

Обзор технологий

ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНА
ООО КСК

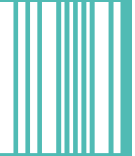


28





Технология SMC/BMC является способом формования стеклопластиковых изделий из препрегов литьем под давлением или методом прямого прессования. SMC (Sheet Mould Compound) - листовой материал, содержащий смолу, наполнители, армирующие волокна. SMS препрег- материал, который может перерабатываться прессованием при повышенных температурах 120-160°C. С двух сторон SMC защищен полимерной пленкой. В отличие от тканых стекло материалов, SMC не армирован связанными между собой стеклянными волокнами. SMC перерабатывается прямым прессованием в крупногабаритные корпусные детали. BMC (Bulk Mould Compound) - материал, представляющий собой особую пасту и состоит из тех же компонентов, что и SMC, имеет более короткие волокна (3-15 мм). BMC - материал, который может перерабатываться прессованием или инъекцией.

**Достоинства**

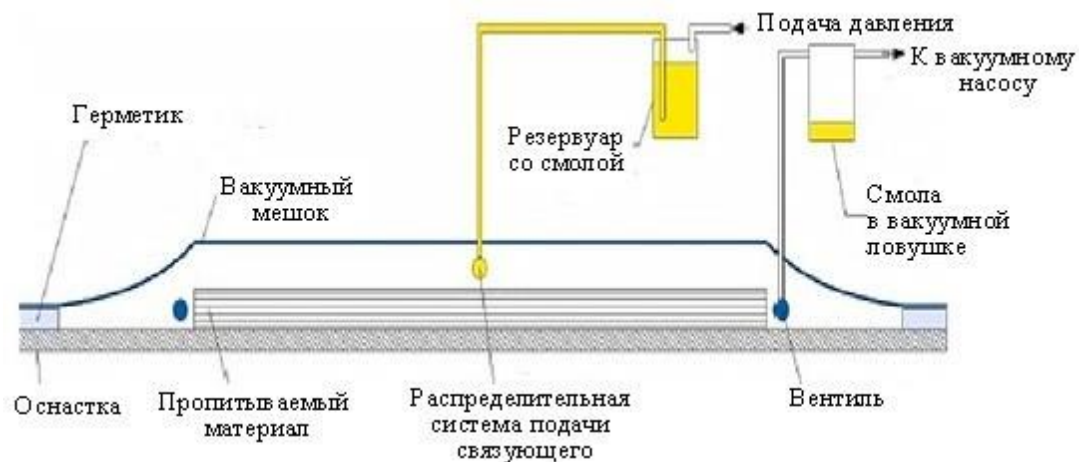
- Точность изготовления;
- Высокое качество поверхности;
- Низкий коэффициент теплового расширения;
- Устойчивость к химическим веществам;
- Легко окрашивается;
- Высокая повторяемость изделий;
- Большой процент стекловолокна и малое количество газа;
- Автоматизация процесса, экологичность и хорошие показатели охраны труда;
- Оправдано для массового производства и больших партий;
- Хранение препрегов в течении длительного времени при низкой температуре.

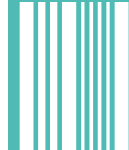
Недостатки

- Дорогостоящие компоненты
- Ограниченные размеры получаемых деталей



Вакуумная инфузия - технология изготовления стеклопластика формованием, при которой с применением вакуумной пленки (мешка) и специальных трубок отсасывающих воздух создается разрежение в рабочей полости герметичной формы, и за счет разницы в давлении между внешней средой и вакуумом происходит всасывание смолы и пропитка предварительно выложенных сухих армирующих материалов.





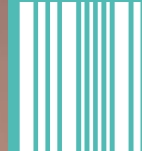
Достоинства	+	-	Недостатки
<ul style="list-style-type: none">▪ Большой процент стекловолокна и малое количество газа, что даёт повышенную прочность;▪ Высокий процент стекловолокна и низкий – газообразных включений, хорошие прочностные свойства и низкая себестоимость;▪ Экологичность.▪ Более низкая стоимость оснастки по сравнению с RTM и Light RTM;			<ul style="list-style-type: none">▪ Необходимость в дополнительном оборудовании;▪ Сравнительно высокая стоимость стекломатериалов и смол;▪ Ограниченная производительность, т.к. полимеризация происходит в оснастке.▪ Процесс изготовления требователен к квалификации персонала, в том числе обслуживающего машины и установки.

5 Инфузия

Обзор технологий

ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНА
ООО КСК





Спасибо за внимание!

