

# Высококачественные *препреги*

## Как может инженерное оборудование обеспечивать запросы производителей композитных изделий?

A. Glawe

F. Schaefer

KROENERT GmbH &amp; Co KG,

Schuetzenstrasse 105, 22761

Hamburg, Germany

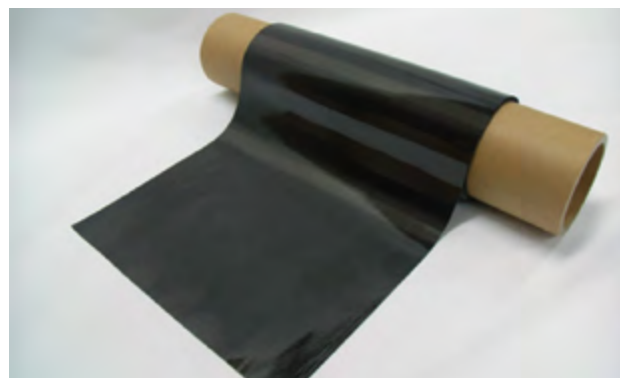
info@kroenert.de

Спрос на стандартные стеклопластиковые изделия повышается в связи с потребностью в высоком качестве со стороны аэрокосмической отрасли. Решение — это список спецификаций, существующий для металлов, например, в таблицах которого можно легко найти модуль упругости, натяжения и стабильности. Создание схожего списка материалов для композитов выглядит нереальным, в связи с многообразием вариаций среди большого количества типов смол и армирующих волокон. Но, как минимум, становится возможным создать стандартизированные процессы по производству препрегов для композитов. Поставщики оборудования могут поддержать процесс стандартизации с высококачественными процессами для достижения как минимум сопоставимых процессов для производства композитных материалов. Процесс начинается с производства пленки со смолой и заканчивается пропиткой волокна. В данном процессе существует большое количество критериев, которые необходимо регулировать и отслеживать для получения воспроизводимого процесса.

### Введение

В случае использования металлических материалов можно очень подробно определить качество материала. В зависимости от области применения металлических изделий можно подобрать характеристики с определенным значением предела прочности на разрыв, модуля упругости, удлинения и так далее. Также можно очень легко подобрать материал, учитывая влияние окружающей среды. Например, сталь с повышенным содержанием титана обладает лучшей стойкостью к растворителям.

С ростом использованием стеклоармированных композитов увеличивается потребность в схожем описании композитных материалов. Есть возможность описать композицию из металла, в которой есть такие компоненты, как, например, железо, хром, титан и другие. Сделать то же самое для композитов практически невозможно вследствие



большого разнообразия армирующих материалов, которые можно использовать, и различных технологий по производству армированных волокном компаундов. Процесс покрытия и пропитки очень сильно влияет на качество продукта, также как и в случае производства препрегов для технологии выкладки волокон. Нужного качества можно достичь с помощью высокоточного оборудования по нанесению покрытий и ламинирования.

## 1.1. Качество армирующих материалов — используемое волокно и тип ткани

Обычно используется два различных типа волокна.

Таблица 1. Качество волокон

Искусственные волокна	Природные волокна
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Углеродные</li> <li>• Стекловолоконные</li> <li>• Полиамидные (Nylon®)</li> <li>• Арамидные (Kevlar®)</li> <li>• Базальтовые</li> <li>• Высокостабильный полиэтилен (Dyneema®)</li> <li>• Гибридная структура (смесь стекла / PA или PE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Лен</li> <li>• Пахла</li> <li>• Сизаль</li> <li>• Шерсть</li> </ul>
Влияние на качество волокон возможно, модифицируя процесс получения и химическую структуру волокон.	На качество волокон влияют характеристики самого растения и климатические условия.

Таблица 2. Качество тканей

Ориентация волокна в одном направлении	Ориентация волокон в нескольких направлениях
	
Ровинг с различным количеством К (Количество филаментов 1 К = 1000 одиночных филаментов) Одиночный ровинг обрабатывается для закрытых лент.	Би-направленная структура — плетенные полотна
	Мульти-направленные структуры <ul style="list-style-type: none"> <li>• Уложенная структура</li> <li>• Прощитая по основе структура</li> <li>• Нетканые</li> <li>• Сочетание различных структур</li> </ul>
Влияние процесса укладки ленты в направлении натяжения.	Меньшее влияние ткацкого процесса. Прощитые по основе структуры частично направлены в соответствии с дальнейшим применением.

## 1.2. Качество смеси — качество используемой смолы

Существует огромное количество типов и видов смол и оно постоянно увеличивается. Химическая отрасль постоянно работает над новыми свойствами смолы, также как и реагирует на потребности автомобильной и аэрокосмической отраслей по более быстрому отверждению реактопластов.

Таблица 3. Характеристики связующих

Термопластичные материалы	Термореактивные материалы
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Полиамид PA 6, 6.6 or 12;</li> <li>• Полиэфир эфир кетон PEEK;</li> <li>• Полиолефин PE или PP;</li> <li>• Поликарбонат PC;</li> <li>• Политетрафторэтилен PTFE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эпоксидные смолы на основе растворителя или воды;</li> <li>• Полиэфирные смолы;</li> <li>• Фенольные смолы;</li> <li>• Винилэфирные смолы;</li> <li>• Акриловые или полиуретановые смолы;</li> <li>• Продукты 1- или 2-К отверждения.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Температурный диапазон: до 250°C, типичные температуры применения: 60 — 120°C;</li> <li>• Диапазон вязкости: 1 — 200 Па·с в зависимости от химии;</li> <li>• Вес покрытия с обеих сторон: 10 — 300 г/м<sup>2</sup>;</li> <li>• Средняя скорость производства пленки: 50 — 80 м/мин;</li> <li>• Средняя скорость пропитки: 5 — 20 м/мин.</li> <li>• Температурная точность: +/- 1 К.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Температурный диапазон: 80 — 400 °C;</li> <li>• Диапазон вязкости: 100–500 Па·с в зависимости от химии;</li> <li>• Вес покрытия с обеих сторон: 10 — 300 г/м<sup>2</sup>;</li> <li>• Средняя скорость производства пленки: 50 — 80 м/мин;</li> <li>• Средняя скорость пропитки: 1 — 5 м/мин</li> <li>• Температурная точность: +/- 1 К и постоянно высокое давление для процесса пропитки.</li> </ul>

Таблица 4. Вариации процесса

За и против в двух-шаговом процессе	За и против в одношаговом процессе
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Процессы производства пленки из смолы и пропитки раздельны и независимы;</li> <li>+ Один процесс не останавливается в случае остановки другого;</li> <li>+ Более одной линии пропитки можно загружать с помощью одной линии;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Процессы производства пленки из смолы и пропитки за один шаг — меньше тепловой нагрузки на смолу;</li> <li>+ Плавление смолы требуется всего один раз;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Пленка из смолы должна быть расплавлена перед ламинированием;</li> <li>- Требуется большой объем силиконовой бумаги или двухсторонней силиконовой бумаги;</li> <li>- Большие инвестиции в две установки;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Производство пленки из смолы при меньшей скорости и как следствие, более длительное время нахождения смолы в системе нанесения;</li> <li>- Если один процесс не работает надлежащим образом, на второй процесс также накладывается негативное воздействие;</li> <li>- Большие инвестиции в две установки по нанесению покрытия;</li> </ul>
Идеальное решение для производства.	Идеальное решение для исследований и разработок.

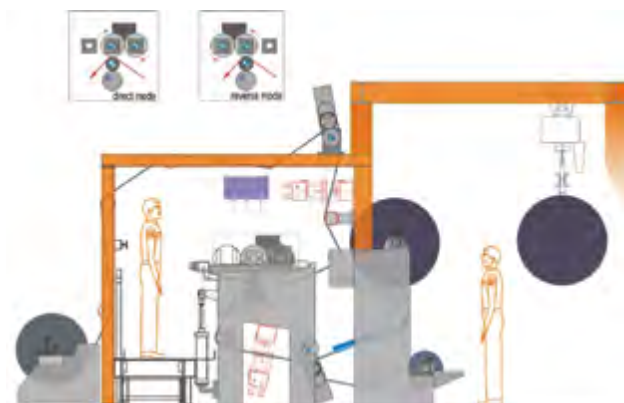


Рисунок 1. Шаг 1 — Создание пленки из смолы

## 2. Технология процесса по производству препрега

От производителей оборудования требуется производство высококачественного оборудования для нанесения покрытия и ламинирования для пропитки волокон и получения полуфабриката — армированного композита. С помощью оборудования можно повлиять на качество препрега в отношении:

- Точности регулировки температуры для всего нагреваемого и охлаждаемого оборудования для создания контролируемой вязкости смолы,
- Обеспечения равномерности движения валика для точности нанесения слоя,
- Обеспечения необходимого количества связующего в течение всего этапа пропитки,
- Обеспечения равномерности и однородности

натяжения материала в течение всего процесса пропитки,

- Точной скорости процесса и контроля скорости,
- Точной регулировки температуры сушки в случае применения отверждаемых смол.

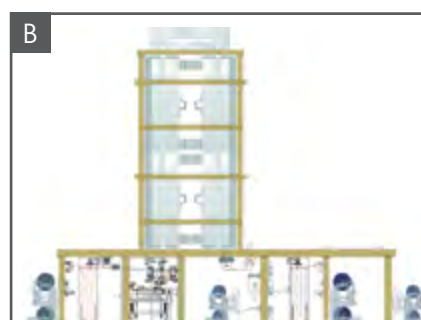
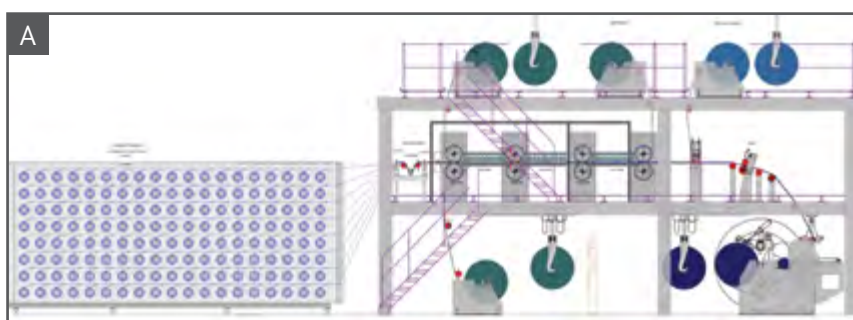
### 2.1. Конструкция установки и технология пропитки

Для производства полуготовых предварительно пропитанных продуктов, армированных волокном, существуют различные технологические процессы:

1. Производство ленты, смолы и ламинация / пропитка с помощью двух различных производственных линий.
2. Сочетание нанесения смолы и ламинирования / пропитки в одной линии производства с двумя системами нанесения покрытия для одновременного производства верхнего и нижнего слоя смолы.
3. Прямое нанесение / пропитка с использованием систем на основе воды и растворителя.

Процесс производства пленки в основном определяется типом смолы. Смоле необходимо нанести на разделительную пленку в определенном количестве. С помощью технологии точного нанесения возможно создание очень тонкой пленки из смолы с точностью в +/- 1 % в поперечном и продольном направлении (Рисунок 1, 2).

Рисунок 2. А: Шаг 2 — Процесс переноса пленки и пропитка волокна  
В: Прямая пропитка смолой на основе растворителя и вертикальная сушка



Для переноса смолы необходимо контролировать натяжение волокна и тканей, а также тщательно контролировать каждую систему.

Линия пропитки должна позволять:

- Переработку всех типов лент / ровинга в различном качестве и с различным содержанием смолы,
- Контролировать натяжение размотки шпинделей
- Оптимизировать подачу лент / ровинга.

Помимо оптимального распределения температуры в каждом устройстве необходимо контролировать натяжение по всем направляющим в течение всех этапов пропитки.

Натяжение зависит не только от качества материала, но также и от положения линии пропитки во время процесса пропитки. Далее представлен пример расположения волокон и материала со станции размотки, далее через процесс пропитки и до намотки пропитанного препрега:

- Натяжение каждой бобины ровинга со станции размотки: 100–400 г;
- Увеличение натяжения во время процесса распределения: 5 Н / 1 м ширины;
- Разделительная пленка и фольга: 10–1000 Н;

- Натяжение размотки материала: 25–300 Н;
- Натяжение намотки конечного продукта: 300–3000 Н.

## 2.2. Технология нанесения для точного нанесения пленки из смолы

Первый шаг в создании высококачественного препрега — это нанесение тонкой пленки из смолы на разделительную пленку. В зависимости от вязкости смолы, а также от требуемой толщины слоя будет подобрана правильная технология нанесения покрытия. Нанесение смолы в расплавленном состоянии является наиболее типичной технологией.

Секции нанесения покрытия являются центром всей линии. Доступны различные технологии нанесения покрытия. Механическая точность со встроенным, современным приводом и контролем может быть достигнута с помощью точной скорости валика. Обеспечение повышенной точности при нанесении покрытий и гарантированность более высокого качества производства необходимы для высококачественных препрегов.

# Машины для производства пре прегов

## Машины в горизонтальном и вертикальном исполнении



Самолетостроение



Ветровая энергетика

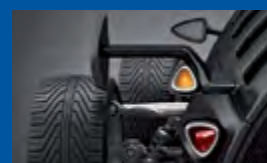


Судостроение



Спортивные товары

KROENERT производит машины для изготовления композитных материалов более 25 лет. Кроме машин для нанесения покрытий (PAK 400 EP), мы также предлагаем машины для изготовления пре прегов (PECO EP) в горизонтальном и вертикальном исполнении. Машины KROENERT для производства пре прегов используются в таких отраслях, как самолетостроение, ветровая энергетика, медицина, автомобилестроение и кораблестроение и индустрия спортивных товаров. **Свяжитесь с нами сейчас!**



Автомобилестроение



Внутренняя отделка самолетов

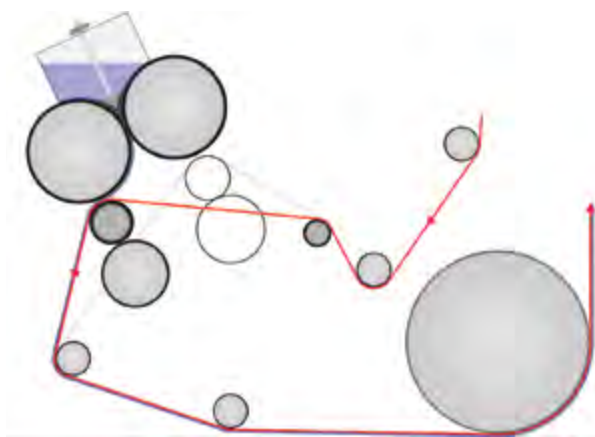


Рисунок 3. Схема и картинка по технологии применения валиков

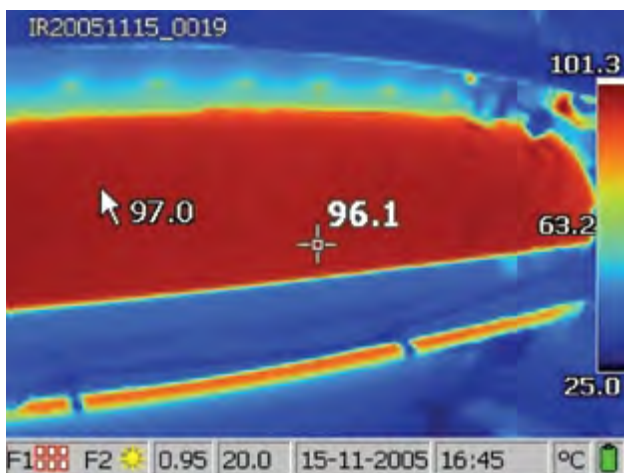


Рисунок 4. Температурная точность между валиками нанесения покрытия

### 2.2.1. Прямое и обратное использование валика

Самой важной технологией нанесения покрытия в процессе нанесения пленки из смолы является технология использования валика. Система может использоваться в прямом и обратном режиме, а также с применением различного количества валиков. Запрашиваемая толщина слоя и вязкость смолы определяют, какой режим (прямой или обратный) необходимо выбрать (Рисунок 3).

При использовании технологии с валиками существует возможность работать с вязкостью в

диапазоне до 200 Па•с. Для более высокой вязкости необходимо регулировать высокое давление между валиками или использовать один валик на режиме ножа без вращения. Тонкие слои можно наносить с помощью системы из трех или четырех валиков (Рисунок 4).

Температуру до 250°C можно достичь с помощью точного нагревательного оборудования и оптимизированным распределением нагревательной жидкости. Можно получить требуемую температурную точность в +/- 1 К. Можно нанести плотность слоя в диапазоне 10–300 г/м<sup>2</sup>, в зависимости от вязкости и технологии нанесения.

### 2.2.2. Экструзионная головка и экструзионная технология

**Диапазон вязкости:** возможно до 500 Па•с, но только с экструзионным насосом;

**Температуры:** до 400°C, требуемая точность: +/- 1 К;

**Плотность покрытия:** 10–400 г/м<sup>2</sup>, в зависимости от вязкости и технологии (Рисунок 5).

### 2.2.3. Технология Commabar с нагреваемым валиком

**Диапазон вязкости:** 0,1–300 Па•с, теоретически возможно;

Рисунок 5. Технология с экструзионной головкой

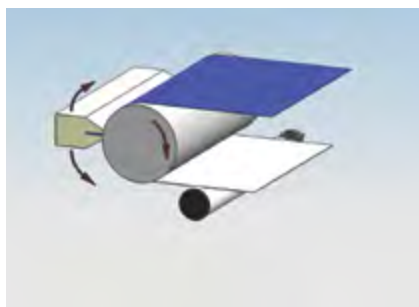
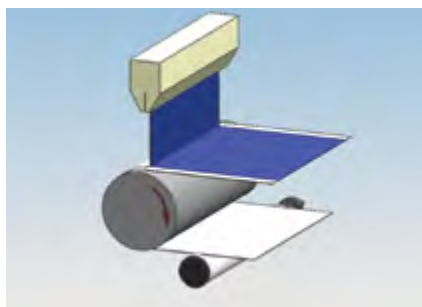
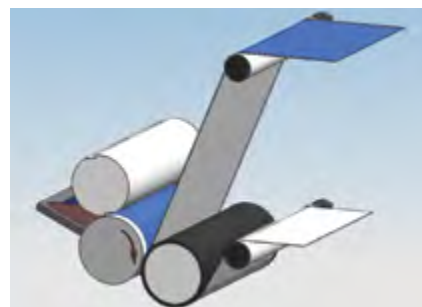


Рисунок 6. Технология Commabar



**Температуры:** нагреваемые валики, а также Comtabar, требуемая точность: +/- 1 К;

**Плотность покрытия:** 10–1000 г/м<sup>2</sup>, в зависимости от вязкости и технологии;

**Точность:** очень высокая → не сгибаемый Comtabar (Рисунок б).

#### 2.2.4. Запрос на технологию нанесения покрытия для высококачественных препрегов

Для высококачественных слоев пленки из смолы необходимо иметь точное оборудование для нанесения покрытия. Помимо этого необходимо определить качество разделительной пленки, а также качество смолы.

С точки зрения оборудования вполне возможно соблюдать параметры качества. Подходящие функции зависят от требований и компоновки станция нанесения покрытия:

- Высокоточные валики с подшипниками и минимальным допуском ( $< 2\mu\text{m}$  при 90°C);
- Хромированные или керамические поверхности валиков для нанесения покрытия / мерных валиков;

- Компенсация изгиба валиков для нанесения покрытия / смешивающих валиков: макс 2,5  $\mu\text{m}$  прогибания;
- Точность температурного контроля валиков для нанесения покрытия / смешивающих валиков: +/- 1 К;
- Точность при регулировке валика и его расположения: +/- 1,5  $\mu\text{m}$  (гидравлический);
- Ручное или автоматическое расположение валиков;
- Быстрая замена опорного валика (также возможно муфты);
- Минимальный зазор: 40  $\mu\text{m}$  при 90°C;
- Антистатическое покрытие деталей, находящихся в контакте со смолой;
- Точность контроля натяжения;
- Свободный доступ к станции по нанесению покрытия.

#### 2.3. Дополнительное оборудование для процесса пропитки

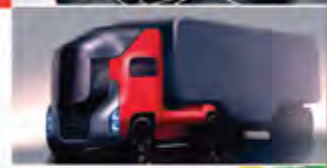
В качестве второго этапа процесса, этапа пропитки, пленку из смолы необходимо перенести на волокна. В целях гарантированности превосход-

**РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА**  
**CAD/CAM ПРОЕКТИРОВАНИЕ**  
**ИЗГОТОВЛЕНИЕ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ**  
**ПРОТОТИПИРОВАНИЕ**  
**ЧПУ ФРЕЗЕРОВКА**  
**ЧПУ ОБРЕЗКА**

**AVD**  
**автомобильный дизайн**

[www.avtodesign.ru](http://www.avtodesign.ru)  
[marketing@avtodesign.ru](mailto:marketing@avtodesign.ru)  
[mail@avtodesign.ru](mailto:mail@avtodesign.ru)

тел. (8552) 44-35-28  
 44-29-95



Более 1000 м<sup>2</sup> площадей задействовано под изготовление деталей методами контактной, RTM, RIM и вакуумной формовки. Ищем партнеров для сотрудничества!



Рисунок 7. Процесс каландрирования, охлаждения и ламинирования

ного процесса пропитки необходимо обеспечить надлежащий контакт между нагревательными столами и ламинируемым компаундом бумаги / препрега / бумаги или пленки и гарантировать температурную точность в  $\pm 1$  К.

Нагревательные столы с ПТФЭ-покрытием или покрытые заменяемой ПТФЭ защитной пленкой во избежание прилипания смолы и для минимизации трения между бумагой и нагревательным столом (Рисунок 7).

Оптимальный процесс пропитки может быть гарантирован с помощью использования двух технологий с применением валиков для ламинирования и расслоения, смешивания и охлаждения плит и валиков. Помимо этого следующие проектные параметры определяют качество пропитки:

- Высокоточные валики с минимальным допуском  $< 2\mu\text{m}$ ;
- Компенсация прогиба валиков;
- Точность регулировки валиков:  $\pm 1,5\ \mu\text{m}$  (гидравлический);
- Постоянные и воспроизводимые установки зажима (давление зажима и измерение зазора);
- Точный температурный контроль валиков, нагревательных и охлаждающих плит в  $\pm 1$  К.

Процесс охлаждения необходим для охлаждения волокон, смолы, бумажного компаунда. Для охлаждения нагретого материала используется станция охлаждения с точным температурным контролем с охлаждаемыми стальными валика-

ми и обжимного валика. Требуемая температурная вариация в  $\pm 1$  К может быть достигнута с помощью охлаждающих валиков определенного размера и определенного количества. Также можно использовать воздухоохладители или охлаждающие плиты.

### 3. Заключение

При использовании высококачественной разделительной бумаги, определенных смол и углеродных и стекловолокон можно определить качество материала. С помощью оборудования для нанесения покрытия и пропитки можно определить параметры инженерного процесса.

Текущие требуемые параметры могут быть дополнены с помощью существующих и разрабатываемых технологий.

- Содержание смолы - 30 – 50 %, точность  $\pm 1$  %;
- Разная плотность покрытия, в зависимости от плотности материала с запрашиваемой точностью:
  - 15 - 50 г/м<sup>2</sup> с  $\pm 2$  г/м<sup>2</sup>
  - 50 - 150 г/м<sup>2</sup> с  $\pm 3$  г/м<sup>2</sup>.

Требования по качеству для однонаправленных лент со стороны аэрокосмической отрасли:

- Отсутствие зазора между одиночными нитями более чем 0,76 мм и длиннее 250 мм;
- Повышенная точность;
- Глубокая и постоянная пропитка. **КМ**

