

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 541.64

### НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНОЙ МАТРИЦЫ

**В.А. НЕЛЮБ**

МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
e-mail: mail@emtc.ru

*Приведены результаты экспериментальных исследований композиционного материала на основе полиэфирной матрицы, в состав которой введен в качестве модификатора термопластичный полимер и два типа наполнителей (волоконный и дисперсный). Разработан технологический процесс производства препрега на основе данного материала. Представлены результаты структурных и механических испытаний полученных материалов.*

**Ключевые слова:** полиэфирная матрица, полистирол, рубленное стекловолокно, препрег, SMC технология.

**П**олимерные композиционные материалы (ПКМ) широко используются в самых различных конструкциях, в том числе в авиастроении для различных деталей интерьера самолета. Это обусловлено тем, что конструкции из ПКМ являются прочными и легкими, что очень важно с точки зрения весовой эффективности.

Одним из важнейших требований, которые предъявляются к таким конструкциям — является их пожаробезопасность. Эта же характеристика является одной из важнейших при производстве строительных конструкций, особенно тех, которые используются для отделки жилых зданий.

Другим, не менее важным требованием, является экономическая эффективность, при которой возможно изделия из ПКМ производить за сравнительно небольшие промежутки времени крупными партиями.

Однако традиционные технологии изготовления изделий из ПКМ на основе термореактивных матриц являются дорогостоящими, поскольку требуются большие затраты времени на процесс формования (отверждения) детали. Например, при использовании эпоксидных связующих горячего отверждения с учетом времени на подъем температуры, выдержку и охлаждение, время технологического процес-

са формования составляет 6—9 ч. Применение эпоксидных связующих холодного отверждения позволяет отказаться от применения дорогостоящего и энергозатратного автоклавного оборудования, однако, время отверждения в этом случае увеличивается до 24 ч [1, 2].

При использовании полиэфирных связующих процессы формования проводят при прессовании, при этом время на весь процесс формования (с учетом времени на установку заготовки, непосредственно процесс прессования и съем готовой детали с прессоры), составляет 5—10 мин, в зависимости от геометрии и габаритов детали. Однако низкие прочностные характеристики полиэфирных связующих традиционно не позволяли создавать на их основе конструкционные детали. Еще одной проблемой серийного внедрения полиэфирных связующих в производство деталей конструкционного назначения, являлось отсутствие технологий получения препрегов.

Целью настоящей работы является разработка нового материала на основе полиэфирных смол и разработка технологии изготовления на его основе препрега, из которого в дальнейшем методом горячего прессования будут производиться различные конструкции, отличающиеся высокой пожаробезопасностью, прочностью и долговечностью.

В качестве полиэфирного связующего использовался материал марки ПН-1, произ-

\* Отдельные результаты настоящей работы получены при финансовой поддержке по проекту № 16.523.11.3012.

водства ОАО «Жилевский завод пластмасс». В состав также вводился полистирол марки 102D, производства ООО «Стайровит». Такой состав гибридного связующего, содержащего терморективную и термопластичную матрицу, обеспечивал материалу высокие деформационные свойства, в том числе и стойкость к длительному воздействию знакопеременных нагрузок.

В качестве наполнителей в данное связующее первоначально вводили слоистые силикаты, далее после их перемешивания с помощью ультразвуковой мешалки в эту систему добавляли гидроксид алюминия (плотность 2420 кг/м<sup>3</sup>, температурой дегидратации 210 °С и теплотой дегидратации 410 кДж/г). Для обеспечения равномерности распределения гидроксида алюминия в полимерной матрице, использовали ультразвуковой диспергатор марки ЛУЗД-1,5/21—3,0. Исследование степени равномерности распределения дисперсного наполнителя в матрице проводили с использованием электрического микроскопа Phenom. При времени перемешивания в течение 5 мин при рабочей частоте — 21,7 кГц; удалось получить равномерное распределение дисперсного наполнителя по всему объему полимерной матрицы (рис. 1).

Данные дисперсные наполнители обеспечивали придание материалу отформованных

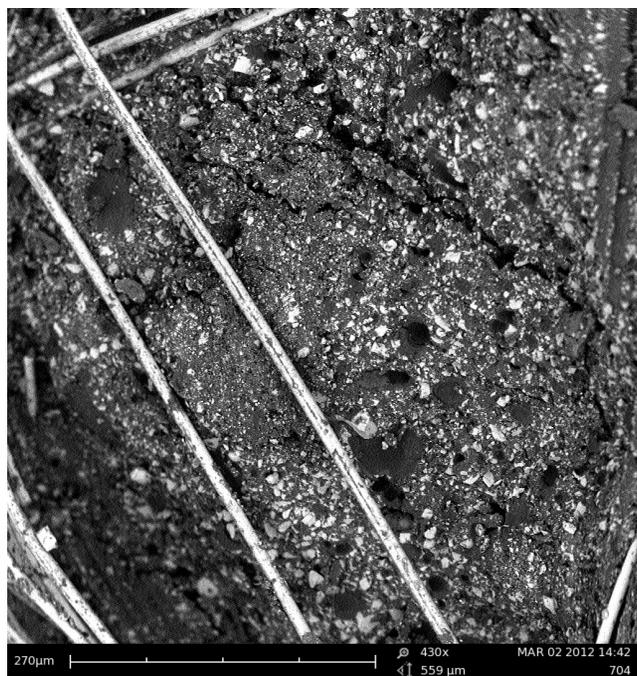


Рис. 1. Результаты структурных исследований: поверхности отвержденной полиэфирной матрицы, в состав которой введен гидроксид алюминия и рубленное стекловолокно

изделий, свойства пониженной горючести. Количество используемого слоистого силиката (в настоящей работе применяли монтмориллонит) составляло 1% (мас.), количество гидроксидов алюминия 10% (мас.). Эти материалы выполняли функции апритирена и понижали горючесть, что позволяло использовать разработанный препрег при изготовлении деталей интерьера жилых домов.

Основными параметрами, с помощью которых оценивается пожаробезопасность, являются горючесть, дымообразование и тепловыделение при горении.

Сущность метода определения горючести заключалась в том, что на образец материала воздействовали пламенем горелки с температурой 800 °С и определяли время продолжительности горения и время тления (после удаления пламени). Продолжительность воздействия горелки составляла 30 с. Для оценки степени дымообразования измеряли интенсивность светового потока, который пропускали через задымленное пространство. Оценку тепловыделения проводили по результатам определения максимальной скорости тепловыделения при воздействии на образец материала теплового потока равного 35 кВт/м<sup>2</sup> в течение 5 мин. Полученные результаты определения показателей пожаробезопасности для разработанного материала приведены в табл. 1. Для сравнения в этой же таблице приведены данные для стеклопластика на основе фенольного связующего марки ФПР-520 и стеклоткани Т15 (этот материал используется при изготовлении полок багажных отсеков гражданских самолетов и поэтому имеет очень высокие характеристики по пожаробезопасности) и данные на трехслойную панель, изготовленную из этого же стеклопластика и сотового наполнителя марки ССП. Как видно из приведенных данных, разработанный материал практически не уступает стеклопластику и существенно превышает трехслойную панель. По показателю дымообразования разработанный материал относится к классу слабодымящих, а по показателям горючести — к самозатухающим материалам.

Полученную смесь связующего, наносили на ангиадгезионную пленку и далее на специальной установке (рис. 2) ее армировали рубленными стеловолокном в двух направлениях и сверху накрывали таким же слоем связующего. Полученный материал представлял собой готовый препрег, который имел срок жизнеспособности

### 1. Сравнительный анализ характеристик пожаробезопасности ПКМ на основе полиэфирных связующих

Основные характеристики	Предлагаемый материал	Стеклопластик Т15	Трехслойная панель обшивки
Горючесть (длина прогорания при толщине образцов 1 мм в течение 60 с), мм	24	22	35
Максимальная скорость выделения тепла (при воздействии теплового потока 35 кВт/м <sup>2</sup> в течение 5 мин), кВт/м <sup>2</sup>	67	65	49
Показатели дымовыделения при:	пиролизе	Д2-1	Д2-1
	горении	Д2-1	Д2-1

способности 6 мес. При хранении в холодильнике при температуре +4 °С срок его годности составляет не менее 12 мес.

Свойства образцов, изготовленного препрега приведены в табл. 2. Для сравнения здесь же представлены данные на аналогичные характеристики ПКМ, полученные при формовании из препрега Итальянской фирмы MFVZOLIT, который также изготовлен на основе полиэфирной смолы и рубленного стекловолокна. Как видно из приведенных данных, по величине ударной вязкости и прочности данные материалы не уступают импортному аналогу, а также стеклопластикам, изготовленным на основе эпоксидного связующего. Однако по сравнению со стеклопластиками они являются существенно более технологичными и более дешеви-

ми. Толщина получаемого препрега составляет 3 мм, тогда как у препрегов на основе стеклоткани она не превышает 0,5 мм.

### 2. Технологические и физико-механические характеристики ПКМ, изготовленных на основе полиэфирной матрицы

Характеристики	Новый материал	Материал фирмы MFVZOLIT
Стоимость, за кг, €	2,0—2,5	2,5
Прочность на изгиб, МПа	150	150
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	180	120
Набухание в воде, % не более	0,2	0,2
Усадка, % не более	0,15	0,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1700	1550
Давление при прессовании, МПа	5—7	10
Температура формования, °С	130—150	130—150

Таким образом, полученный ПКМ на основе полиэфирной матрицы и коротких стеклянных волокон характеризуется высокой прочностью, имеет низкий удельный вес, отличается очень высокой огнестойкостью и, что очень важно, особенно при серийном производстве, низкой стоимостью.

В зависимости от назначения деталей, схема армирования и тип наполнителя могут изменяться, что соответственно приведет и к некоторому изменению толщины слоя препрега.

Полученный материал препрега имеет светлый серый цвет, что практически полностью определяется цветом используемых наполнителей.

При необходимости цвет может быть изменен за счет изменения наполнителей и добавки в состав препрега специальных пигментов.

Из полученного препрега вырезали куски заданной формы, укладывали их в специальную обогреваемую оснастку и методом горячего прессования формовали детали практически любой геометрической формы и размеров. Минимальная температуры при прессовании составляла 130 °С, максимальная — 150 °С. При толщине детали 1 мм время прессования составляло 1,5 мин; при тол-

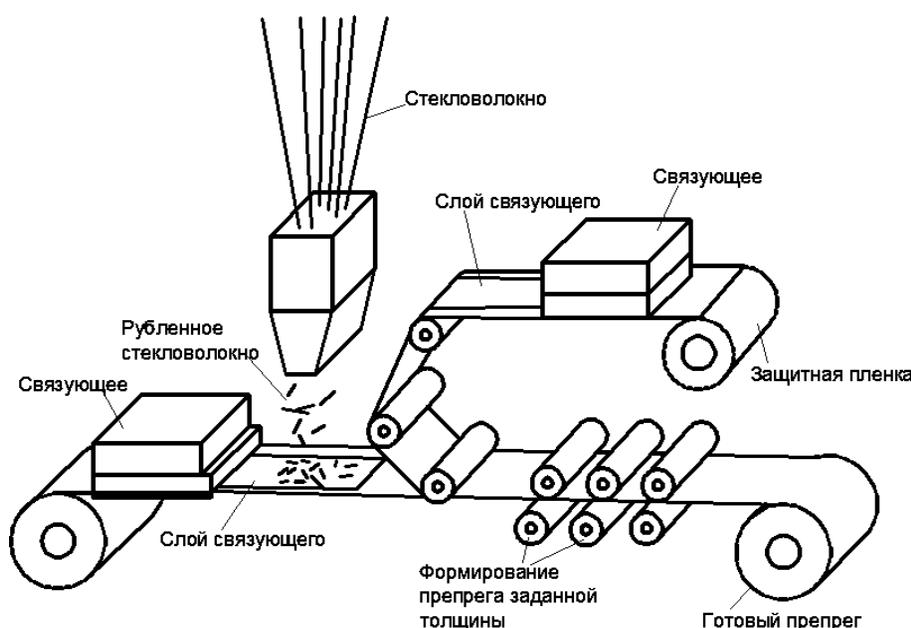


Рис. 2. Схема технологического процесса изготовления препрега

щине 3 мм — 3,5 мин; при толщине 5 мм — 6 мин.

С использованием электрического микроскопа Phenom, который позволяет получать изображение поверхности образца с разрешением не менее 50 нм, проводили структурный анализ (рис. 3), также была исследована поверхность разрушения образцов после их испытания на ударную вязкость. Можно предположить, что характер разрушения, является квазихрупким, поскольку на это указывают нечеткие контуры следов разрушенной матрицы.

На фото (см. рис. 3) хорошо видна реальная схема укладки стеклянных волокон. Армирование препрега (по разработанной технологии), происходит короткими стеклянными волокнами, резка которых происходит непосредственно на линии производства препрега (см. рис. 2). Ножи располагаются под углами 45° относительно друг друга, что обеспечивает соответствующую укладку волокон. Однако на практике имеет место некоторое нарушение углов армирования (см. рис. 3) это связано с тем, что волокна не укладывают на слой препрега вручную, а они падают на него произвольно. При такой технологии имеет место касание

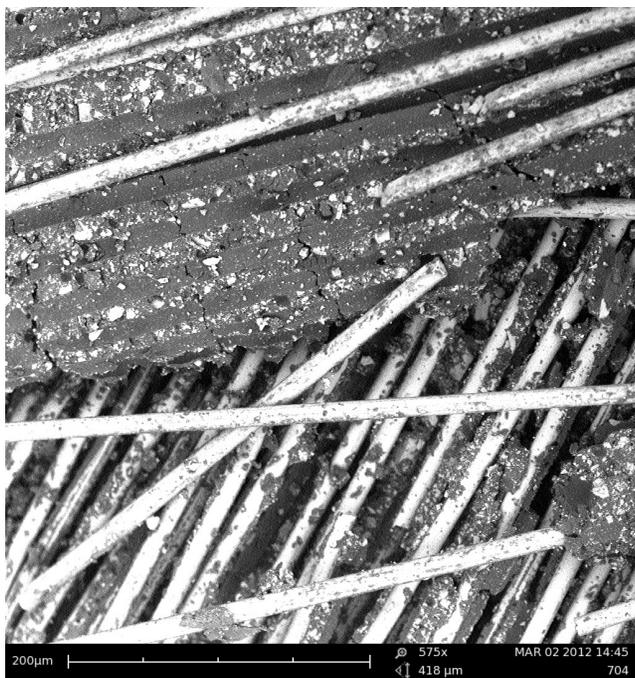


Рис. 3. Структура образцов из ПКМ на основе полиэфирной смолы, армированной рубленым стекловолокном, после разрушения при испытаниях на растяжение

одних волокон другими, что приводит к нарушению их расположения на слое связующего.

Полученные фото структур также позволили оценить степень равномерности распределения дисперсного наполнителя (гидроксида алюминия), который на полученных фотографиях имеет белый цвет и наиболее хорошо виден на рис. 1, 3.

Объемное содержание матрицы, определенное с помощью программного обеспечения Vision Assistant, составило для исследованных образцов 41,6%, что несколько превышает обычное содержание связующего в композите. Обычные стеклопластики, которые изготавливаются с использованием препрега, полученного по растворной технологии, содержат, как правило, не более 30% связующего. По мнению специалистов [3], такое содержание матрицы обеспечивает наибольшие значения адгезионной прочности на границе матрица — волокно и позволяют получать ПКМ с высокими значениями моделей. В то же время, если при изготовлении препрега на основе стеклоткани и эпоксидного связующего использовать не растворную, а расплавную технологию, то содержание связующего увеличивается до 45%. Таким образом, в полученном материале содержание полиэфирной матрицы находится на том же уровне, что и для некоторых типов стеклопластиков.

В результате проведенных исследований был разработан состав полимерного связующего, технология производства на его основе препрега и технология прессования. Все проведенные исследования прочностных и деформационных характеристик, а также результаты структурного анализа полученных ПКМ, показали их высокое качество и перспективность при изготовлении различных типов изделий в серийном производстве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комков М.А., Тарасов В.А. Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения: учеб. пос. М: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 431 с.
2. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении/Научные редакторы А.Г. Братухин, В.С. Боголюбов, О.С. Сироткин. М.: Готика, 2003. 516 с.
3. Полимерные композиционные материалы: Научное издание/Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 352 с.