

Пеноматериалы «Синтерм» для термокомпрессионного формования изделий из ПКМ

Sinterm foam materials for thermocompression molding of PCM products

М.М. ПЛАТОНОВ, А.Н. БАБИН, М.А. ЕВТЕХОВ, И.А. ШАРОВА, А.А. ШИМКИН

M.M. PLATONOV, A.N. BABIN, M.A. EVTEKHOV, I.A. SHAROVA, A.A. SHIMKIN

Научно-исследовательский центр «Современные полимерные материалы», Москва, Россия

"Modern Polymer Materials R&D Center", Moscow, Russia

platonov@nic-spm.ru

Разработана новая технология формования полимерных композиционных материалов (ПКМ) из препрегов. Технология заключается в использовании специального «активного» сердечника из закрытопористого газонаполненного материала (пенопласта), формирующее действие которого основано на возможности расширения при повышенной температуре и создании давления на слои из препрега внутри замкнутой формообразующей оснастки. В статье приведено описание новой технологии и марочного ассортимента полимерных композиций для изготовления сердечника.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, препреги, методы формования, сердечник из пеноматериала, Синтерм

A new technology for molding polymer composite materials (PCMs) from prepregs has been developed. It is based on the use of a special "active" core made of a closed-pored gas-filled material (foam), which expands at elevated temperatures and creates pressure on the prepreg layers inside the closed forming equipment. The paper describes the new technology and the assortment of polymer compositions for the manufacture of the core.

Keywords: polymer composite materials, prepregs, molding methods, core, Synterm

DOI: 10.35164/0554-2901-2023-9-10-26-28

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) – это многокомпонентные материалы, состоящие из армирующего наполнителя и полимерного связующего (матрицы). Варьирование типа армирующего наполнителя и его ориентации в материале, поверхностная обработка наполнителя, подбор полимерного связующего позволяют материаловедам разрабатывать материалы с необходимым сочетанием свойств. Изделия из ПКМ находят применение в качестве конструктивных и функциональных элементов летательных аппаратов и автотранспорта, баллистической бронезащиты, строительных конструкций, изделий медицинского назначения и спортивного инвентаря. Наибольшую практическую ценность приобрели ПКМ с непрерывным армирующим волоконным наполнителем тканой или однонаправленной (UD) структуры, так как использование высокопрочных углеродных, арамидных и неорганических волокон в сочетании со связующим, перераспределяющим нагрузки между волокнами, позволяет получать материалы, существенно превосходящие конструкционные сплавы по прочности и имеющие при этом меньшую плотность [1].

Многие современные композитные производства ориентируются на препреговые технологии, так как использование препрегов позволяет формировать высококачественные изделия с минимальной пористостью и низкой вероятностью брака, с оптимальным соотношением волокон/связующее, что позволяет стабилизировать механические свойства материала. Препреги – это композитные полуфабрикаты, представляющие собой текстильные формы (ткани, однонаправленные ленты), пропитанные неотвержденной (частично отвержденной) термореактивной смолой или термопластами. Для формования препрегов на основе термореактивных связующих, как правило, необходимо избыточное давление 0,09–0,6 МПа и температура 90–180°C.

Краткая характеристика основных безавтоклавных вариантов препреговой технологии представлена в таблице 1.

В продолжение развития препреговой технологии формования объемных изделий из ПКМ нашим коллективом была разработана и запатентована технология, сочетающая в себе подход термокомпрессионного формования, раздува эластичным мешком и формо-

Таблица 1. Основные безавтоклавные варианты препреговой технологии изготовления ПКМ.

Технология	Описание
Раздув эластичным мешком	Давление создается с помощью надуваемого эластичного мешка, помещенного в формообразующую часть оснастки. Преимущество: Контроль и регулировка внутреннего давления. Недостатки: Сложности в изготовлении эластичного мешка и его быстрая деградация, 100% брак в случае разгерметизации мешка, имеются ограничения по форме и геометрии изделия.
Термокомпрессионный метод	Давление создается благодаря расширению при нагревании вкладыша из материала с высоким КЛТР (кремнийорганические эластомеры, полиамид), помещенного в формообразующую часть оснастки. Преимущество: Возможность развития высокого давления (до 2–3 МПа). Недостатки: Необходима высокая точность при изготовлении вкладыша, имеются ограничения по форме и геометрии изделия, сильная зависимость внутреннего давления от температуры (риск чрезмерного оттока связующего).
Формование сердечником из пенопласта	Давление создается путем сжатия вкладыша из пенопласта, исходные габариты которого превышают габариты замкнутой полости конечного изделия. Преимущество: Возможность получения изделий с полностью замкнутыми полостями. Недостатки: Повышенная вероятность брака из-за смещения или замятия слоев сырого препрега и хрупкого разрушения сердечника при сжатии заготовки в оснастке.

вания сердечником из пенопласта [3]. В основе технологии лежит принцип изготовления закрытопористого газонаполненного сердечника, способного при нагревании в свободном состоянии расширяться подобно эластичному мешку, или в замкнутой оснастке оказывать давление на стенку. Подобно термокомпрессионной технологии, внутреннее давление в оснастке зависит от температуры пеноматериала [4]. Газонаполненный сердечник получают расширением и монолитизацией полимерной композиции (или форполимера) в закрытой оснастке при повышенной температуре, таким образом, отсутствует необходимость во фрезеровании пеноматериала (как в технологии формования пенопластовым сердечником), и коэффициент использования полимерной композиции приближается к 100%.

В основе химического состава полимерной композиции находятся термопластичные полимеры (или форполимеры) в сочетании с инкапсулированными в термопластичные оболочки физическими порофорами и системой функциональных добавок. Из одной и той же полимерной композиции могут быть получены пенопласты разной плотности. Как правило, верхнее значение диапазона плотностей определяется кажущейся плотностью композиции, а нижнее значение зависит от рецептуры и составляет 50–200 кг/м³. Данная технология формования и полимерные композиции для изготовления закрытопористых газонаполненных сердечников зарегистрированы под торговой маркой «Синтерм»®. Подробная схема технологии «Синтерм» представлена на рис. 1.

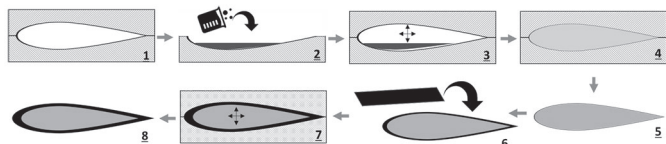


Рис. 1. Схема технологии «Синтерм»

В обработанную разделительным составом оснастку для изготовления сердечника (1) помещают навеску Синтерма (2), исходя из объема полости и планируемой плотности сердечника. Плотность сердечника определяет его внутреннее давление, которое будет развиваться на этапе формования ПКМ, и прочность в изделии. Масса навески Синтерма определяется по формуле:

$$m = k \cdot \rho \cdot V_0,$$

где m – масса навески Синтерма (г); k – корректирующий коэффициент; ρ – целевая плотность пеноматериала (г/см³); V_0 – объем формообразующей полости оснастки (см³).

Корректирующий коэффициент зависит от марки используемого Синтерма и обычно равен 1,01–1,05. Далее смыкают оснастку и производят первичный нагрев до температуры 110–160°C (3) (температура и время обработки зависят от марки Синтерма и массивности оснастки). В результате порошковая композиция Синтерм расширяется и спекается в монолитный сердечник (4). Оснастку охлаждают до температуры менее 50°C и извлекают закрытопористый газонаполненный сердечник (5). На сердечник или в оснастку конечного изделия выкладывают препрег (6), температура отверждения которого должна находиться в диапазоне 100–150°C. Полуфабрикат помещают в оснастку готового изделия (7) и нагревают в соответствии с рекомендациями на препрег. Сердечник из Синтерма нагревается и в зависимости от плотности создает внут-

реннее давление 0,2–1,2 МПа, что способствует качественной проформовке препрега. Оснастку охлаждают до 50°C, размыкают и извлекают готовое изделие (8). Так как расширение сердечника происходит во все стороны, то материал также способен качественно формовать закладные элементы или ребра жесткости внутри конструкции.

Изготовление сердечника из Синтерма и готового изделия ПКМ возможно организовать в одной оснастке, для этого по форме полости оснастки могут быть изготовлены композитные, силиконовые или напечатанные на 3D-принтере вкладыши, толщина стенки которых будет уменьшать габариты формы на необходимую для выкладки препрега толщину.

Различные марки Синтерма могут использоваться для придания отформованному изделию дополнительных свойств: высокой прочности и стойкости к удару, пониженной пожарной опасности, пониженной плотности. Также разработаны специальные марки Синтерма, обеспечивающие формование при пониженной температуре (от 100°C), растворимость в воде для изготовления пустотелых изделий, высокую мягкость и гибкость.

Краткое описание полимерных композиций Синтерм представлено в таблице 2.

Порошковые марки Синтерм используются для изготовления сердечников с толщиной стенки не менее 2 мм. Листовые марки Синтерм Флекс могут быть использованы при формовании тонкостенных изделий из ПКМ с толщиной стенки от 0,8 мм.

Пеноматериалы Синтерм 1732 и Синтерм 1750 хорошо себя зарекомендовали для формования спортивного инвентаря, мебели и других композитных изделий, подвергающихся воздействиям ударных нагрузок ввиду высокой демпфирующей способности пеноматериала. Синтерм 1732 рекомендуется использовать при формовании ПКМ из препрегов с температурой отверждения в диапазоне 130–150°C, Синтерм 1750 рекомендуется использовать при переработке препрегов с температурами отверждения 100–120°C.

Зависимость прочностных характеристик сердечника из материала Синтерм 1732 от плотности представлена на рис. 2.

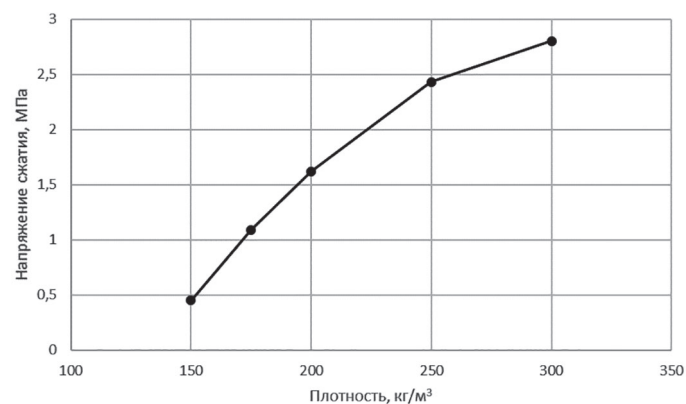


Рис. 2. Зависимость напряжения сжатия от плотности при деформации 5% для пеноматериалов на основе Синтерм 1732.

Пеноматериал на основе полимерной композиции Синтерм 1734 относится к категории самозатухающих материалов, что может быть использовано при изготовлении изделий из ПКМ с требованиями пониженной пожарной опасности, например, деталей интерьера гражданской авиации.

Таблица 2. Основные характеристики полимерных композиций Синтерм

Свойства	Марка Синтерм					
	1732	1750	1734	2315	Флекс Т100	Флекс Т150
Внешний вид	подвижный порошок белого или бежевого цвета				лист толщиной 0,5–3 мм	
Рекомендуемый диапазон плотностей пеноматериала сердечника, кг/м ³	150–300			60–250	250–900	
Температура формования сердечника из полимерной композиции, °C	140	110	140	140	110	150
Пожарная опасность	горючий		самозатухающий		горючий	
Температура формования изделия из ПКМ, °C	130–150	100–120	130–150	130–140	90–120	130–150
Диапазон термокомпрессионного давления при минимальной и максимальной плотности и средней температуре формования, МПа	0,16–0,38	0,22–0,40	0,20–0,40	0,22–0,85	0,25–1,5	0,2–1,2

Отличительной особенностью полимерной композиции Синтерм 2315 является способность к созданию давления термокомпрессии более 0,2 МПа при плотностях от 60 кг/м³, что необходимо для изделий, где ключевым параметром является низкий вес, например, лопасти летательных аппаратов [5] или элементы конструкций, такие как рама БПЛА. Зависимость давления термокомпрессии от плотности и температуры для сердечников из композиции Синтерм 2315 представлена на рис. 3 и 4 соответственно.

Пленочные форполимеры Синтерм Флекс Т100 и Синтерм Флекс Т150 базируются на полимерной композиции с вязкоупругими свойствами [6]. Пеноматериалы на их основе обладают гибкостью и мягкостью и могут быть использованы не только в качестве материала сердечника для формования изделий ПКМ, но и в качестве самостоятельных мягких вкладышей для защитной спортивной экипировки.

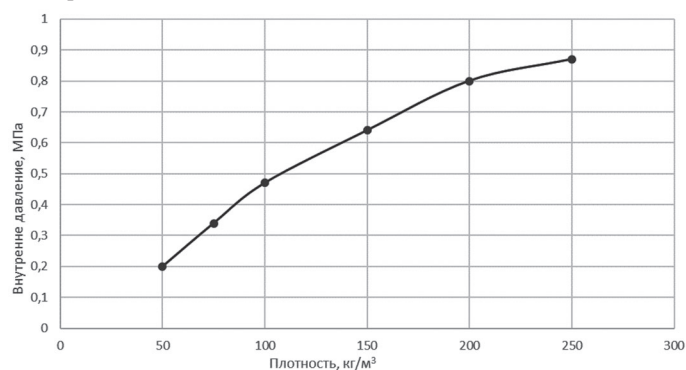


Рис. 3. Зависимость давления термокомпрессии от плотности для пеноматериалов из Синтерм 2315 при температуре 140°C.

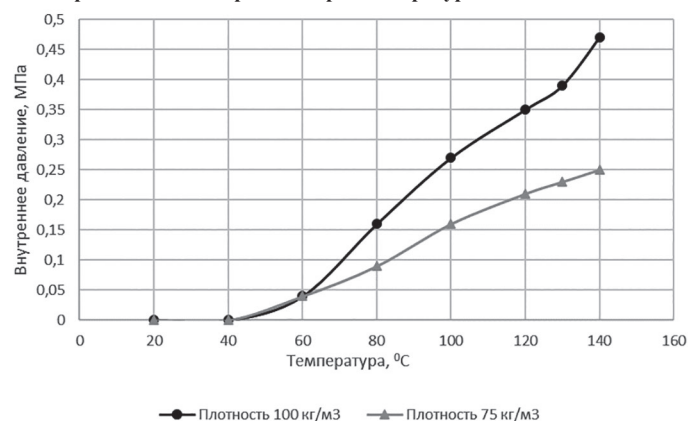


Рис. 4. Зависимость давления термокомпрессии от температуры пеноматериалов из Синтерм 2315 плотностью 100 и 75 кг/м³.



Рис. 5. Пример углепластиковых изделий, изготовленных с использованием технологии «Синтерм». а - хоккейная клюшка «Заряд» Синтерм 1732; б - Подводное крыло гидроfoilа Синтерм 2315.

Полимерная композиция Синтерм-Аква разработана на основе водорастворимого термопласта, порофора и системы наполнителей, облегчающих растворение материала в воде. Давление термокомпрессии для сердечника из Синтерм-Аква составляет до 1,2 МПа, температура использования 120–130°C. Сердечник из Синтерм-Аква может быть удален промывкой в воде с получением пустотелого изделия.

На рис. 5 представлены фотографии некоторых углепластиковых изделий, изготовленных при помощи технологии Синтерм [7].

Таким образом, разработана новая технология формования ПКМ из препрегов, заключающаяся в изготовлении и применении закрытопористого пенопластового сердечника из специализированной полимерной композиции в закрытой формообразующей оснастке. Благодаря этому коэффициент использования материала приближается к 100%, что выгодно отличается по экономическим и экологическим причинам от технологии фрезерования пенопластовой плиты из полиуретановых или пеноакрилимидных пен, где коэффициент использования материала не превышает 40%. На стадии изготовления сердечника возможно варьирование плотности пеноматериала в широком диапазоне. Изготовленный сердечник, подобно эластичному формующему мешку под давлением, способен к расширению в свободном объеме и созданию давления внутри закрытой оснастки до значений, необходимых для качественного формования препрегов, причем возможно формование не только стенок, но и ребер жесткости и конструктивных перегородок. Широкий марочный ассортимент полимерных композиций для изготовления сердечника со специальными свойствами позволяет выбрать материал практически для любого ПКМ изделия: с повышенной стойкостью к удару; пониженной массы; пустотелого, имеющего требования по пожарной опасности.

Литература

1. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: НОТ. 2010. 822 с.
2. Колпачков Е.Д., Петрова А.П., Курносое А.О., Соколов И.И. Методы формования изделий авиационного назначения из ПКМ (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2019. №11 (83). С. 22–36.
3. Бабин А.Н., Платонов М.М. Порошковый форполимер термокомпрессионного синтактического пенопласта / Патент РФ, RU 2 709 129 C1 (Опубл.16.12.2019. Бюл. №35).
4. Галиев А.Н., Бабин А.Н., Мырмин В.Н., Козловский А.В., Махотин Д.Н., Платонов М.М. Новые решения в области термокомпрессионного формования изделий из ПКМ // Полимерные материалы. 2022. №3. С. 8–14.
5. Галиев А.Н., Махотин Д.Н., Мырмин В.Н., Козловский А.В. Лопасть воздушного винта и способ ее изготовления / Патент РФ, RU 2 749 051 C1 (Опубл. 03.06.2021. Бюл. №16).
6. Бабин А.Н., Платонов М.М. Термопластичная эластомерная композиция с демпфирующими свойствами и способ ее применения / Патент РФ, RU 2 784 736 C1 (Опубл.29.11.2022. Бюл. №34).
7. Простая технология для сложных изделий. ООО НИЦ Современные полимерные материалы. URL: <https://synterm.ru> (дата обращения: ДД.ММ.ГГГГ).