

Перспективным материалом для изготовления авариестойких мягких топливных баков является композит на основе высокомодульного полиэтиленового волокна и полиуретана. Высокопрочные высокомодульные полиэтиленовые (ВВПЭ) волокна в 15 раз прочнее высокопрочных марок стали, на 40% прочнее арамидных волокон, на 5% легче морской воды. Благодаря своей нанокристаллической структуре [1], ВВПЭ-волокно имеет при плотности 0,97 г/см³ очень высокие механические свойства: прочность - 250 - 400 кг/мм² (2,5-4 ГПа) и модуль упругости - 9000 - 17000 кг/мм² (90-170 ГПа). Эти волокна отличаются от других высокопрочных волокон не только более высоким уровнем удельных механических характеристик, но также и минимальным коэффициентом трения, положительным влиянием скорости деформации на прочность, резким увеличением прочности в области отрицательных температур, химической и биологической инертностью, уникальными диэлектрическими свойствами [2]. Благодаря высокой энергии адсорбции 50-70•10⁶ Дж/м³, ВВПЭ волокна в первую очередь эффективно используют в качестве энергопоглощающих материалов. Волокнам присущи высокая ударная вязкость и высокий уровень поглощения ударной энергии. Скорость звука в волокнах Dyneema®SK-75 (Голландия) составляет $\approx$ 12000 м/с, в то время как для кевлара и тварона она лежит в диапазоне 7000-8000 м/с. Такая высокая скорость звука в волокнах позволяет быстро рассеивать энергию удара по большой площади. Данные свойства делают перспективным применение ткани из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) в качестве армирующего компонента, что в сочетании с полиуретановой матрицей позволит создать авариестойкий мягкий топливный бак для вертолетов различных типов. Проблемой использования волокна из СВМПЭ в качестве армирующего, является гидрофобность, инертность поверхности, что препятствует возникновению межфазного взаимодействия с материалом матрицы и получению монолитного композиционного материала. Следовательно, необходимым условием для получения композитов с заданными свойствами является взаимодействие ткани и полимерной матрицы на межфазной границе, что возможно за счет регулирования поверхностной активности волокон различными методами модификации. В ранних работах показаны преимущества применения плазменной активации в высокочастотном емкостном разряде пониженного давления, при создании композитов на основе СВМПЭ волокон и тканей [3-5]. Полиуретановый компаунд является продуктом на основе форполимера с концевыми изоцианатными группами и отвердителя аминного типа. Для приготовления компаунда используется форполимер СКУ-ПФЛ-100 и отвердитель. Характеристики исходного сырья приведены в таблице 1. Таблица 1 - Характеристики исходного сырья для приготовления компаунда

Наименование сырья ТУ, ГОСТ Показатели, обязательные для проверки перед применением Показатели пожаро- взрывоопасности Фор-полимер СКУ-ПФЛ-100

ТУ 38 103137, ОАО «Казанский завод СК» Массовая доля NCO - групп, %, в пределах 5,3-6,4. Вязкость при 25°C, Па•с, в пределах 7,5-13,0 Невзрывоопасен, самопроизвольно не воспламеняется, трудногорючий Отвердитель ТУ 2257-028-00152000-2005 Казанский НИИ полимеров и каучуков специального назначения КНИТУ Температура плавления, (120±10)°C Содержание массовой доли диамета X, %, 38-41; плотность расплава, г/см³; 1,3-1,4 Трудногорючий Форполимер SKU-ПФЛ-100 поступает в готовом виде. Отвердитель представляет собой композицию на основе Диамет X (3,3' Дихлор-4,4' Диаминодифенил-метан) с технологическими добавками производства Казанского научно-исследовательского института каучуков специального назначения КНИТУ поставляется в готовом виде. Рецепт пропиточной композиции (соотношение форполимера и отвердителя) устанавливается для каждой скомплектованной партии указывается в паспорте. Перед приготовлением компаунда оба компонента в случае кристаллизации предварительно разогревают в таре изготовителя в закрытом виде до прозрачного состояния (контролируют визуально). Допускается форполимер разогревать не более 4-х раз при температуре (55±5) °C, а отвердитель не более 5 раз при температуре (120±10) °C. Допускается после разогрева отвердитель разлить в количестве сменной потребности в плотно закрывающуюся тару из термостойкого стекла или белой жести. Компаунд готовят непосредственно перед применением следующим образом: в чистую сухую емкость берут навески охлажденных до температуры (20 - 40)°C форполимера и до температуры (40 - 60)°C отвердителя в соотношении, указанном в сопроводительном документе (паспорте) на пропиточную композицию. Смесь компонентов перемешивают до однородного состояния в течение 5 - 10 минут вручную металлическим шпателем. Компаунд после смешения должен быть использован в течение 30 - 60 минут во избежание нарастания вязкости и ухудшения заливочных свойств в зависимости от назначения и массы навески. Технологическое время отверждения компаунда не менее 24 часов, полное время отверждения компаунда - 7 суток при температуре (23±5) °C. Заранее раскроенные образцы ткани обрабатывают плазмой. Параметры обработки приведены в таблице 2. Таблица 2 - Параметры плазмообработки

Параметр	Значение
Напряжение, Ua, кВ	5
Сила тока, Ia, А	0,7
Давление, P, Па	26,6
Плазмообразующий газ	аргон
Скорость газа, GAr, г/с	0,04
Время обработки, τ, с	180

Образцы ткани размещают на металлическую подложку, покрытую полиэтиленовой пленкой (допускается использование антиадгезионной смазки). На металлическую подложку размещают армирующий слой из высокомолекулярного полиэтиленового волокна, на который шпателем или валиком наносят заранее приготовленный компаунд. Избыток компаунда снимают шпателем. При необходимости получения многослойного материала на первый слой пропитанного армирующего материала наносят второй армирующий слой, который пропитывают аналогично первому и т.д. После

нанесения всех слоев материал покрывают металлическим листом и помещают в пресс. Технологическое время отверждения композита не менее 24 часов, полное время отверждения композита - 7 суток при температуре $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Возможен второй вариант изготовления композита, где используют разборную металлическую литьевую форму. Форма перед употреблением смазывается антиадгезионной смазкой. В форме имеются пазы для закладки предварительно обработанного плазмой раскроенного армирующего материала. Количество пазов совпадает с количеством слоев армирующего материала. В зазор между металлическими стенками формы заливается предварительно приготовленный компаунд. Технологическое время отверждения композита не менее 24 часов, полное время отверждения композита - 7 суток при температуре $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Композит в промышленных условиях готовится по следующей технологии: 1. Приготовление полиуретанового компаунда. 2. Плазмообработка полотна СВМПЭ. 3. Пропитка полотна СВМПЭ полиуретановым компаундом. 4. Активизация процесса полимеризации компаунда с помощью СВЧ-обработки. 5. Отжим композита от избытка пропиточного компаунда. 6. Вытяжка и термостабилизация композита. 7. Резка поликомпозита на препреги. 8. Сборка препрегов. 9. Прессование препрегов.

1. Приготовление полиуретанового компаунда Полиуретановый компаунд готовится путем смешения двух компонентов: полиуретановой смолы и отвердителя. Небольшие объемы до 50 грамм могут изготавливаться вручную (аналогично эпоксидным компаундам). Промышленные масштабы компаунда готовятся в реакторе при температуре 50-60 $^\circ\text{C}$ путем перемешивания лопастной мешалкой 20-60 минут в зависимости от объема партии компаунда. Все сырье, необходимое для производства отвердителя, подвергается входному контролю на соответствие требованиям ГОСТ и ТУ.

2. Плазмообработка полотна СВМПЭ Проблемой использования волокна из СВМПЭ в качестве армирующего, является гидрофобность, инертность поверхности, что препятствует возникновению межфазного взаимодействия с материалом матрицы и получению монолитного КМ. С целью увеличения гидрофильности СВМПЭ его подвергают плазмообработке. Оптимальный режим плазмообработки: напряжение, $U_a = 5 \text{ кВ}$, сила тока, $I_a = 0,7 \text{ А}$, давление, $P = 26,6 \text{ Па}$, скорость подачи плазмообразующего газа аргона $G_{\text{Ar}} = 0,04 \text{ г/с}$, время обработки, $\tau = 180 \text{ с}$.

3. Пропитка полотна СВМПЭ полиуретановым компаундом Пропитка полотна СВМПЭ полиуретановым компаундом производится в ванне, наполненной полиуретановым компаундом с последующим отверждение под СВЧ установкой для быстрого отверждения композиции. Время отверждения от 1 до 2 минут.

4. Отжим композита от избытка пропиточного компаунда Отжим композита от избытка пропиточного компаунда производится на вальцах рисунке 1а. а б Рис. 1 - Вальцы для отжима компаунда (а) и каландры для вытяжки и термостабилизации композита (б)

5. Вытяжка и термостабилизация композита Вытяжка и термостабилизация

композита происходит на системе каландров, обогреваемых горячим воздухом, рисунок 16. 6. Резка поликомпозита на препреги Резка поликомпозита на препреги производится с помощью специального ножа на полотна размером 100*100см. При необходимости размер можно увеличить по длине. Толщина композита варьируется от 0,2 см до 1 см по требованию Заказчика. 7. Сборка препрегов Сборка препрегов осуществляется на специальном столе. Количество слоев композита определяется заказчиком. 8. Прессование препрегов Пакет препрегов помещается в пресс для придания изделию монолитности и окончательного отверждения. Время отверждения от 1 до 8 часов в зависимости от количества слоев и толщины пакета при температуре 80 0С. Далее пакеты поступают на раскрой и изготовление баков. Изготовление баков производится из заранее раскроенных заготовленных препрегов. Соединение отдельных плоскостей бака производится на формообразующей разборной оснастке за счет использования клея на основе неотвержденного (жидкого) компаунда с последующим его отверждением. Допускается наложение отдельных плоскостей друг на друга или в замок с последующим креплением неотвержденным компаундом с помощью сушки горячим воздухом. В изделии предусмотрены технологические отверстия для монтажа штуцеров для заливки топлива и установки контрольных приборов. Формообразующая оснастка извлекается из готового бака после полного отверждения композиции. Разработанная технология может выступать как альтернатива традиционным способам получения топливных баков на основе полиамидных или арамидных тканей и резины, и в силу физико-механических и физико-химических особенностей предлагаемых компонентов приведет к повышению авиационной стойкости мягких топливных баков вертолетов различных типов. Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации при выполнении работ в рамках соисполнительского договора между КНИТУ и КНТУ-КАИ по созданию авиационной топливной системы вертолета, во исполнение договора № 02.G25.31.0082 от 23.05.2013 г между Открытым акционерным обществом «Вертолеты России» и Министерством образования и науки Российской Федерации об условиях предоставления и использования субсидий на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения; договора № ВР-13-087-08 от 22.02.2013 г НИОКРиТР, заключенного между Открытым акционерным обществом «Вертолеты России» и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Казанским национальным исследовательским техническим университетом им. А.Н. Туполева - КАИ».