

УДК 678

В. А. Нелюб, М. А. Городецкий, Л. Х. Тун,
Г. В. Мальшева

СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, нетканый материал, связующее, кинетика процесса пропитывания.

По технологии вакуумной инфузии изготовлены многослойные образцы на основе эпоксидного связующего, стеклоткани и нетканого материала из полиэтилентерефталата. Проведена экспериментальная оценка кинетики процесса формования и исследованы свойства полученных композитов в зависимости от количества слоев нетканого материала. В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением количества слоев нетканого материала скорость пропитки возрастает от 17 до 45%, также происходит повышение на 25% и более значений модуля упругости.

Keywords: polymer composite materials, non-woven material, binder, kinetics of impregnation process.

By the technology of vacuum infusion, multilayer samples based on epoxy binder, fiberglass and non-woven material made of polyethylene terephthalate are made. An experimental estimation of the kinetics of the molding process and the research of the properties of composite materials is carried out, depending on the number of layers of the nonwoven material. As a result of the conducted studies, it has been established that with the increase in the number of layers of nonwoven material, the impregnation rate increases from 17 to 45%, and an increase of 25% or more of the modulus of elasticity also occurs.

Введение

Области применения полимерных композиционных материалов постоянно расширяются, что связано с уникальным комплексом их свойств [1, 2]. Наряду с обычными композиционными материалами, состоящими из наполнителя одной химической природы и матрицы, все шире используются гибридные композиты [3, 4], в том числе и на основе нетканых материалов. Нетканые материалы фактически также относятся к композиционным, поскольку состоят из двух элементов, один из которых выполняет функцию наполнителя, второй – связующего. В последнее время были созданы новые типы нетканых материалов, которые по своей структуре аналогичны сотовым наполнителям. Традиционно многослойные конструкции из полимерных композиционных материалов с сотовыми наполнителями применяются в авиастроении, машиностроении, производстве изделий ракетно-космических конструкций [5-7] и во многих других отраслях. Однако в технической литературе отсутствует информация по свойствам

многослойных панелей, в которых вместо сотового наполнителя используется нетканый материал.

При изготовлении деталей из обычных и гибридных полимерных композиционных материалов используются стандартные технологии формования, в том числе и метод вакуумной инфузии [8, 9], основным преимуществом которой является ее низкая себестоимость.

Цель настоящей работы состоит в исследовании свойств гибридных композиционных материалов на основе органического нетканого материала в зависимости от количества нетканых слоев. Полученные результаты необходимы для проведения дальнейших исследований, связанных с оптимизацией композитных конструкций.

Объекты и методы исследования

В качестве нетканого материала в работе использовался полиэфирный нетканый материал, отличающийся упорядоченной сотовой структурой. Между собой соты разделены специальными каналами, которые содержат микросферы. Фото использованного нетканого материала и отдельные элементы его структуры показаны на рис. 1.

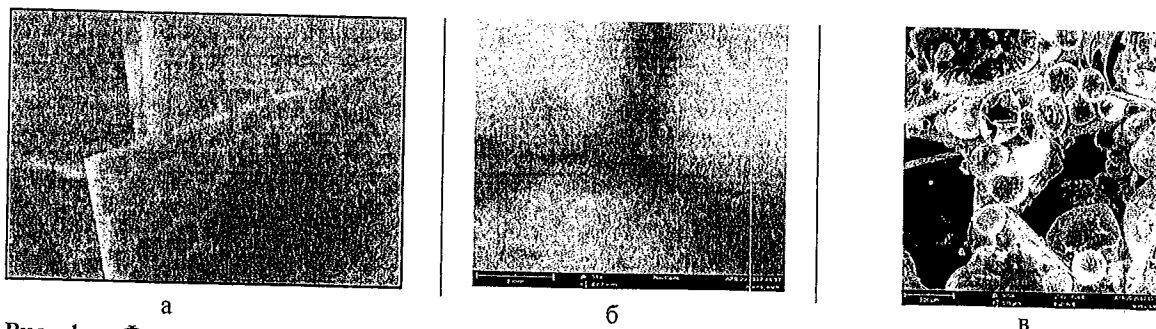


Рис. 1 - Фото нетканого материала из полиэтилентерефталата в исходном состоянии (а); при увеличении в 60 раз (б) и в 500 раз (в)

В качестве волокнистого наполнителя использовалась стеклянная ткань марки «Ortex 560» и эпоксидное связующее на основе смолы «ЭД-20», отвердителя – изометилтетрагидрофталиевый ангидрид и активного растворителя – диэтиленгликоля марки «ДЭГ-1». Свойства используемых материалов приведены в табл. 1. Выбор данного типа стеклоткани и связующего связан с их большим распространением при изготовлении стеклопластиков [10]. Стоимость 1 м² зарубежного нетканого материала составляет 350 руб., отечественного (аналогичной химической природы) – 22 руб. Для сравнения стоимость сотового заполнителя из стеклоткани составляет 2500 руб. Таким образом, стоимость нетканого материала существенно ниже, стоимости сотового заполнителя и его применение в многослойных конструкциях из полимерных композиционных материалов является экономически эффективным.

Таблица 1 - Свойства используемых материалов

№	Материал	Показатели
1	Нетканый материал из полиэтилен-терефталата	Удельная масса, г/м ² - 130 Прочность, МПа при: - изгибе - 16; - сжатии - 4. Модуль упругости при изгибе, МПа - 1000
2	Стеклоткань	Линейная плотность (текст): - основа - 1200; - уток - 1200. Разрывная нагрузка, Н - основа - 6500; - уток - 5700.
3	Эпоксидное связующее	Прочность, МПа при: - растяжении - 82 - изгибе - 105 Температура стеклования, °С - 110

Для проведения исследований в работе были изготовлены три типа образцов: без нетканого материала, а также с одним и двумя слоями нетканого материала. Схемы образцов с указанием общего количества слоев приведены в табл. 2. Образец под номером 1 был изготовлен из 6 слоев стеклоткани, под номером 2 – из 7 слоев (3 слоя стеклоткани + 1 слой нетканого материала + 3 слоя стеклоткани), а под номером 3 – из 8 слоев (2 слоя стеклоткани + 1 слой нетканого материала + 2 слоя стеклоткани + 1 слой нетканого материала + 2 слоя стеклоткани). Для всех образцов и всех слоев угол выкладки составил 0°.

Все образцы изготавливали методом вакуумной инфузии. Непосредственно в процессе пропитывания с помощью секундомера и линейки оценивали скорость прохождения связующего по верхнему слою. Точность измерения длины пропитанной части образцов составила 2 мм, точность оценки времени – 1 сек. Для каждого типа многослойных композитов было изготовлено по 5 образцов.

Таблица 2 - Образцы многослойных композитов, изготовленные методом вакуумной инфузии

Количество слоев	Схема композита
6 слоев стеклоткани	
6 слоев стеклоткани + 1 слой нетканого материала	Стеклоткань (3 слоя) Нетканый материал (1 слой) Стеклоткань (3 слоя)
6 слоев стеклоткани + 2 слоя нетканого материала	Стеклоткань (2 слоя) Нетканый материал (2 слоя) Стеклоткань (2 слоя)

Отверждение всех полученных образцов проводили при температуре +180°С в течение 3 час.

Свойства полученных композитов исследовали с помощью динамо-механического анализатора марки «Netzsch 242E Artemis». Пористость оценивали с помощью рентгеновского микротомографа высокого разрешения марки «SkyScan 1172».

Результаты и обсуждение

На рис. 2 приведены некоторые фото структур исследованных материалов, полученных с помощью рентгеновского микротомографа марки «SkyScan 1172». Значения пористости, рассчитанные в автоматическом режиме по полученным фото структур образцов, составили: 1,7% для образца под №1, №2 – 3,6% и №3 – 3,5%. Повышение пористости многослойных композитов (образцы №2 и №3) по сравнению с исходным материалом связано не с дефектами структуры, а с большим значением пористости исходного нетканого материала. Такая повышенная пористость не приводит к ухудшению свойств композитов.

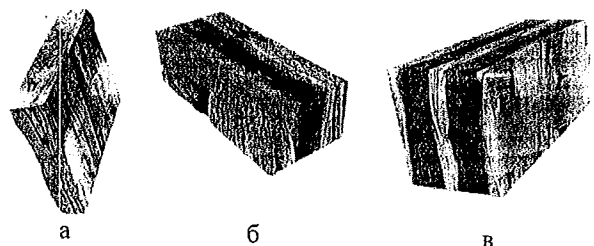


Рис. 2 - Фото образцов стеклопластика, полученные на микротомографе, без нетканого материала (а) с одним (б) и двумя (в) слоями нетканого материала

В табл. 3 приведены экспериментально найденные значения модулей упругости и сдвига, а также их отношение – тангенс угла механических потерь для всех трех типов образцов в зависимости от температуры испытания.

Таблица 3 - Значения моделей упругости и сдвига многослойных полимерных композитов

Температура испытания, °С	№ образца по табл. 2		
	1	2	3
Модуль упругости, МПа при температурах, °С			
30	11024	10664	13305
50	9060	10575	13286
100	1439	10183	12745
150	1292	8367	9285
200	1396	4867	4551
Модуль сдвига, МПа при температурах, °С			
30	353	315	549
50	1516	278	485
100	20	289	507
150	16	591	743
200	17	682	683
Тангенс угла механических потерь при температурах, °С			
30	0,032	0,029	0,04
50	0,17	0,026	0,037
100	0,014	0,028	0,04
150	0,012	0,07	0,08
200	0,012	0,14	0,15

Анализ полученных результатов показывает, что модуль упругости многослойного композита, состоящего из 2 слоев нетканого материала (образец №3) повышается практически на 25% при температуре 30°С по сравнению с образцом, состоящим из 1 слоя нетканого материала (образец №2). Образцы под номерами 2 и 3, по сравнению с исходным образцом из стеклопластика (образец №1) обладают в среднем в 3 раза большими значениями модуля упругости при температурах до 200°С. Модуль упругости композитов в состав которых введен нетканый материал, по сравнению с аналогичным без него, начинает повышаться уже при температурах от 50°С и далее, по мере увеличения температуры эти различия постоянно увеличиваются. Таким образом, использование нетканого материала в структуре композиционного материала позволяет повысить значения их модуля упругости.

На рис. 3 приведены результаты оценки кинетики процесса пропитывания. Как видно из полученных данных, несмотря на увеличение общего количества слоев (с 6 до 8), продолжительность процесса пропитывания для образцов с 2-мя слоями нетканого материала оказалась на 60с ниже чем для образцов с одним слоем и на 150с ниже чем для образца не содержащего нетканый материал. Общая продолжительность процесса пропитывания слоистых композитов с одним слоем (образец №2)

на 17% ниже, а с двумя слоями (образец №3) на 45% ниже, чем исходного.

Достигнутое увеличение скорости процесса пропитывания связано с капиллярно-пористой структурой нетканого наполнителя из полиэтилентерефталата.

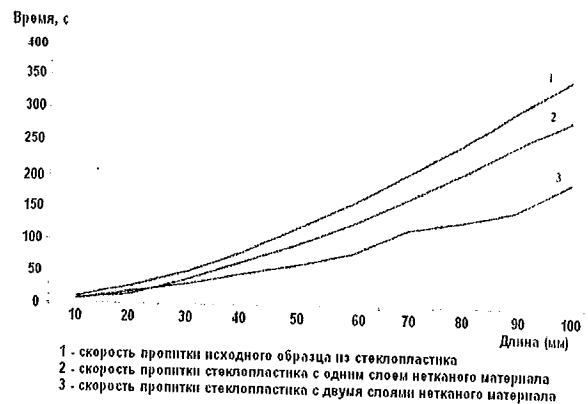


Рис. 3 - Кинетика процесса пропитывания для образцов без нетканого материала; с одним и двумя слоями нетканого материала

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при увеличении в полимерном композиционном материале количества слоев из нетканого материала из полиэтилентерефталата имеет место увеличение значений модулей упругости. По сравнению с исходным образцом из стеклопластика (образец №1), образцы, в составе которых есть нетканый материал, обладают в среднем в 3 раза большими значениями модуля упругости при температурах до 200°С.

Общая продолжительность процесса пропитывания слоистых композитов с одним слоем (образец №2) на 17% ниже, а с двумя слоями (образец №3) на 45% ниже, чем исходного. Таким образом, изготовление слоистых композитов с нетканым материалом требует меньшей продолжительности пропитывания, т.е. получение данного композита экономически эффективно.

Литература

1. Тарасов В.А., Бараев А.В., Боярская Р.В. Научно-практические основы определения конструктивно-технологических параметров унифицированных цельнометаллических шар-баллонов высокого давления // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017, №3, С.89-95.
2. Нелюб В.А. Оценка адгезионного взаимодействия между углеродным волокном и эпоксидным связующим // Клеи. Герметики. Технологии. 2014, №7, С.20-22.
3. Чуднов И.В., Ахметова Э.Ш., Малышева Г.В. Особенности исследования свойств гибридных полимерных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Материаловедение, 2013, №5, С.22-25.
4. Гузева Т.А. Отверждение полимерных связующих с помощью энергии электромагнитных колебаний сверхвысоких частот // Клеи. Герметики. Технологии. 2014, №8, С.30-32.

5. Михайловский К.В., Барановский С.В. Методика проектирования крыла из полимерных композиционных материалов на основе параметрического моделирования. Часть 2. Проектирование силовой конструкции // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016, №12, С.106-116.
6. Буянов И.А., Вдовин Д.С. Разработка метода проектирования и технологии прошивки преформ для изготовления углепластиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2016, №10, С.22-24.
7. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. М.: МАДИ, 2016. – 264 с.
8. Кузнецов В.М., Нехороших Г.Е. Применение углепластиков при изготовлении сосудов давления торовой формы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015, №2, С.32-36.
9. Буянов И.А., Бородулин А.С., Пье Пху Маунг Исследование структуры полимерных композиционных материалов с использованием рентгеновского микротомографа // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016, №11, С.70-75.

© **В. А. Нелюб** - к.т.н. директор Межотраслевого инженерингового центра «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, **М. А. Городецкий** – магистрант кафедры Ракетно-космических композитных конструкций МГТУ им. Н.Э. Баумана, **Тун Лин Хтет** - магистрант кафедры Ракетно-космических композитных конструкций МГТУ им. Н.Э. Баумана, **Г. В. Мальшева** – д.т.н., проф. каф. Ракетно-космических композитных конструкций МГТУ им. Н.Э. Баумана, ov_stoyanov@mail.ru.

© **V. A. Nelub** – Ph.D., Director of the Interindustry Engineering Center "Composites of Russia" of Bauman Moscow State Technical University, **M. A. Gorodetsky** – Master Student of Rocket and Space Composite Structures Department of Bauman Moscow State Technical University, **Tun Lin Khtet** – Master Student of Rocket and Space Composite Structures Department of Bauman Moscow State Technical University, **G. V. Malysheva** – Doctor of Engineering, Full Professor of Rocket and Space Composite Structures Department of Bauman Moscow State Technical University, ov_stoyanov@mail.ru.