

УДК 678:539.3

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНЫХ СТЕКЛОВОЛОКОН И ПОЛИПРОПИЛЕНА

Ю. С. ПЕРВУШИН

Факультет авиационных двигателей УГАТУ
Тел: (3472) 51 16 27

Рассмотрена перспективность создания конструкционных термопластичных композитов на основе твердофазного совмещения и непрерывных стеклоармирующих материалов и полипропилена. Дан анализ различных структур армирующих каркасов, которые могут быть получены ткаными и неткаными методами по волоконной и пленочной технологиям

Композиты; полипропилен; матрица; стекловолокна; структура; твердофазное совмещение

Одним из путей развития научно-технического потенциала Республики Башкортостан является использование развитой полимерной промышленности для создания перспективных термопластичных композиционных материалов и изделий из них по экологически чистым и высокопроизводительным технологиям.

Наличие современной полимерной промышленности позволяет РБ идти в ногу со среднемировыми тенденциями в потреблении металлов и неметаллов. В 1980 году соотношение металлов и неметаллов в мировом потреблении составляло 70:30 (в процентах). В настоящее время оно составляет приблизительно 50:50, а в начале следующего века прогнозируется как 25:75 [2].

В общем объеме потребления неметаллов доля армированных пластиков растет наиболее интенсивно, в среднем 2–3% ежегодно. Среди армированных конструкционных пластиков все большее развитие получают композиционные материалы на термопластичных матрицах, ежегодные темпы прироста которых в наиболее развитых странах достигли 10–15%. Столь высокие темпы прироста объясняются не только высокими показателями конструкционных и функциональных свойств термопластичных композиционных материалов, но и более современными технологическими свойствами, такими, как ма-

лая энергоемкость, безотходность производства и, что не менее важно, неизмеримо более высокая экологическая чистота по сравнению с отверждающими полимерными материалами.

Сущность экологически чистых технологий производства термопластичных композиционных материалов заключается в использовании твердофазного совмещения и чередования непрерывных армирующих и матричных нитей при создании армирующих каркасов изделий (рис. 1) [1].

Соединение в одной нити (рис. 2) волокон армирующего материала (стекловолокна) и волокон матричного материала (полипропилена, полистирола и др.) открывает принципиально новые возможности создания целого класса конструкционных материалов различного назначения на термопластичных связующих. Вышеуказанные методы совмещения обеспечивают высокую фиксацию армирующих и матричных волокон относительно друг друга, расчетный коэффициент армирования, воспроизводимость упругих и прочностных характеристик созданных композиционных материалов. Срок хранения получаемых методом твердофазного совмещения полуфабрикатов практически неограничен.

Твердофазное совмещение компонентов композиционных материалов (волокон и пленок) позволяет использовать при создании

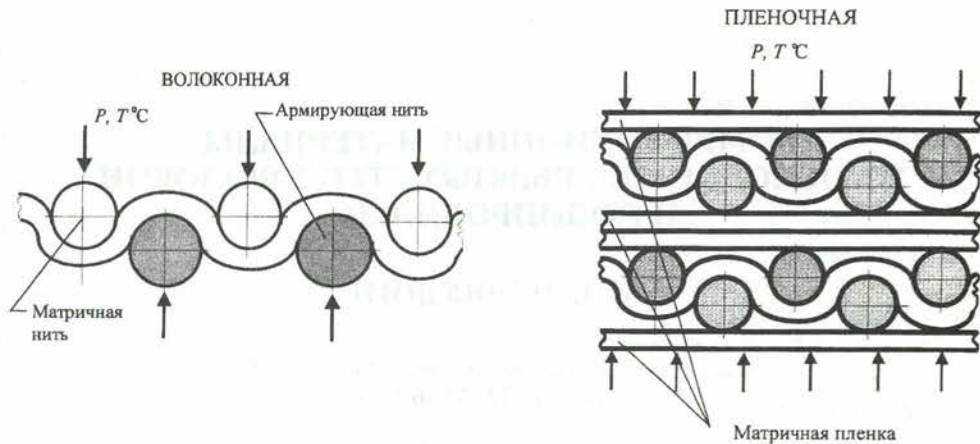


Рис. 1. Структуры полуфабрикатов композиционных материалов на основе волоконной и пленочной технологии [1]

армирующих каркасов изделий высокопроизводительное ткацкое, трикотажное, плетельное оборудование и нетканые методы.

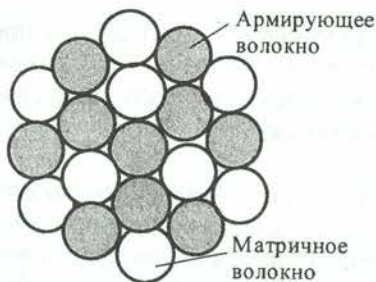


Рис. 2. Структура гибридной нити

Перспективным направлением в разработке высоких технологий производства термопластичных композиционных материалов на основе твердофазного совмещения является технология готовых и полуготовых форм [5].

В основу этой технологии положено получение армирующего каркаса, формы и размеры которого близки к готовому изделию. Например, если готовым изделием является цилиндрическая оболочка, то полуготовой формой является трубчатый рукав, в структуре которого заложены армирующие и матричные волокна. При воздействии на полуфабрикат необходимой температурой и давлением матричные волокна расплавляются и монолитизируют армирующие волокна и формируют изделие.

Получение изделий с заданными конструктивными свойствами (прочностью и жесткостью) предполагает выбор наиболее

оптимальных текстильных и нетканых структур армирующих каркасов.

Выбор оптимальной структуры определяется многими факторами, такими как форма элемента конструкции, его конструктивные свойства и технологические методы изготовления, эксплуатационные и стоимостные показатели. Очень важно увязать форму и свойства текстильного или нетканого полуфабриката с методом изготовления композита, который обеспечивал бы наиболее экономически целесообразные эксплуатационные параметры композитной конструкции при минимальных затратах.

Выбор структуры армирующего каркаса зависит от вида напряженного состояния элемента конструкции, который оно будет испытывать в процессе эксплуатации. Так, для стержневых систем, которые испытывают растяжение, сжатие, предпочтительны линейные структуры.

Для плоских или с малой кривизной композитных элементов предпочтительны плоские текстильные структуры полотняного, сатинового переплетения либо трикотажные (вязанные) структуры с проложенными линейными нитями вдоль основы и утка (рис. 3).

Характерной особенностью слоистых плоских структур является слабое сопротивление отрыву по оси Z и межслойному сдвигу. Для устранения этого текстильная структура должна иметь пространственную интегрированную систему, когда все нити по толщине соединены друг с другом, что обеспечи-

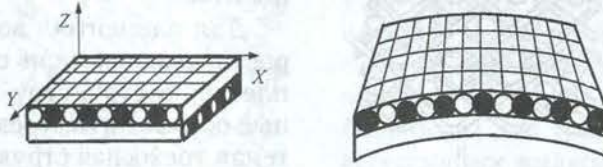


Рис. 3. Армирующие каркасы: плоские и с малой кривизной

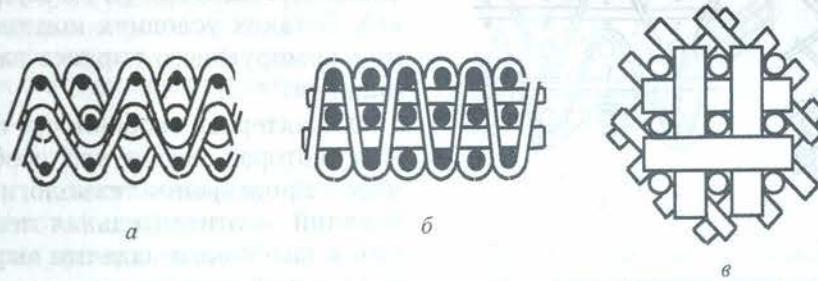


Рис. 4. Пространственные структуры армирующих каркасов: а — тканая структура, образованная системой двух нитей [6]; б — тканая структура, образованная системой трех нитей [4]; в — пятинаправленная нетканая структура [4]

вадет необходимую прочность при межслойном сдвиге и отрыве.

На рис. 4 представлены некоторые типы пространственных структур армирующих каркасов.

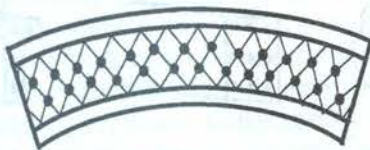


Рис. 5. Трубочатое сечение со структурой переплетения системой двух нитей [7]

Для трубчатых сечений, стержневых профилей и др. целесообразными являются пространственные структуры, образованные системой двух нитей (рис. 5) [7]. На этом способе остановимся подробнее.

Характерным признаком материалов, образованных системой двух нитей, является наличие заданной степени искривления волокон в направлении основы (ось X); волокна утка (ось Y) прямолинейны. Арматура в третьем направлении (ось Z) отсутствует. Образование межслойных связей достигается за счет переплетения волокон основы с прямолинейными волокнами утка. При этом характер межслойных связей может быть различ-

ным. Различия в характере образования связей создаются способом соединения прямолинейных волокон утка как по высоте пакета, так и по направлению оси X . На рис. 6 представлены некоторые варианты переплетения волокон основы с прямолинейными волокнами утка.

Степень искривления волокон основы (угол θ) в рассматриваемых схемах армирования изменяется в широких пределах. Изменяя угол наклона волокон в направлении оси X , можно в широких пределах изменять упругие и прочностные характеристики композита. Необходимо иметь в виду, что при изменении угла наклона в направлении оси X увеличение одних характеристик происходит за счет снижения других. Использование наряду с искривленными волокнами (в направлении оси X) прямых волокон позволяет регулировать изменение характеристик композита за счет объемного соотношения прямых и искривленных волокон.

Создание пространственных связей системой двух нитей позволяет создавать композиты с переменными свойствами по высоте (рис. 6, III).

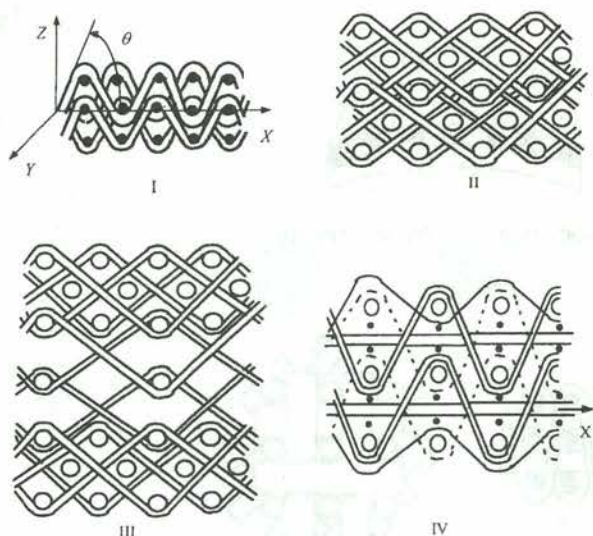


Рис. 6. Структуры армированных каркасов, образованных системой двух нитей [7]: I — соединение рядом лежащих слоев; II — соединение через один слой; III — соединение с переменной плотностью по утку; IV — соединение через два слоя с использованием в направлении X прямых волокон

Композиты, образованные системой двух нитей, обладают способностью значительно (в $1,5 \div 2$ раза) повысить несущую способность материала, особенно при межслойном сдвиге и отрыве.

4. ПЛЕТЕННЫЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ

Технологический процесс плетения в силу высокой производительности, низкой себестоимости и относительной простоты является одним из наиболее экономически целесообразных технологических методов создания готовых и полуготовых форм армирующих каркасов для большой номенклатуры изделий при твердофазном совмещении армирующих и матричных волокон.

Сравнение рукавных полотен, одинаковых по размеру и структуре переплетения, образованных ткачеством и плетением, показывает высокую деформируемость плетеной структуры при сдвиге в осевом и радиальном направлениях. Тканая структура, наоборот, в этих направлениях имеет наибольшую жесткость. Радиальная податливость плетеного рукава позволяет с помощью процесса плетения производить заготовки сложной кривизны. Это свойство является ключевым для многих потенциальных областей приме-

нения плетеных структур в технологии композитов.

Для элементов, воспринимающих осевые растягивающие или сжимающие нагрузки, в плетеную структуру вводятся дополнительные осевые нити, в результате образуется плетеная трехосная структура армирующего каркаса.

Процесс плетения применительно к композитам наиболее гибок, когда плетеная заготовка изготавливается на сердечнике (оправке). В таких условиях конечная конфигурация армирующего каркаса задается формой оправки.

Характерная особенность процесса плетения, которая делает его особенно интересным с точки зрения технологии композитных изделий — относительная легкость реализации в заготовке и изделии вырезов, введения вкладышей, крепежных деталей и т. д.

Следующий шаг по пути усложнения технологии двумерного плетения — пространственное плетение, когда материал образуется путем перекручивания или ортогонального переплетения двух или более систем нитей с образованием пространственной структуры на специальных машинах. Системы пространственного плетения позволяют получать структуры с большой и малой толщиной и сложными поперечными сечениями (рис. 7).

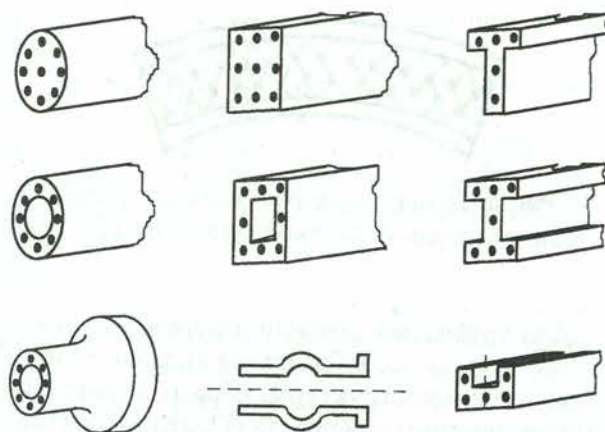


Рис. 7. Армированные изделия, которые можно изготовить методом пространственного плетения [4]

В настоящее время находят все большее применение основовязанные структуры, усиленные прямолинейными нитями вдоль основы, утка и диагоналей, проходящими сквозь толщину материала (рис. 8).

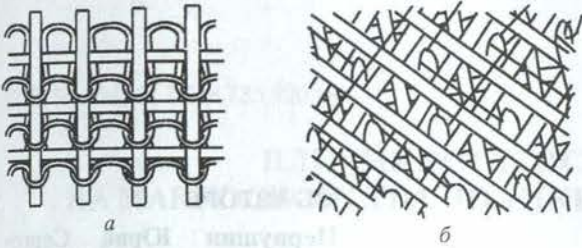


Рис. 8. Вязаные структуры армирующих каркасов с проложенными прямолинейными нитями [4]: а — точное вязание; б — многонаправленная основовязаная структура

Структурная целостность армирующих каркасов зависит от целостности рисунка переплетения. При прочих равных условиях пространственные ткани и плетения должны обладать большей структурной целостностью, чем ортогональные нетканые материалы и многонаправленные основовязаные трикотажи. С точки зрения формуемости и возможности создания изделий с практически чистовыми размерами пространственное плетение наиболее подходит для получения армирующих каркасов, легко принимающих нужную форму. Уровень формуемости вязаных структур также высок, что делает их удобными для переработки в композит методами формования.

Выбор наилучшей пространственной системы армирования зависит от многих факторов и в наибольшей степени от сферы применения композитов. Для объективной оценки свойств различных композитных систем необходимо иметь их эксплуатационные и стоимостные показатели.

Наряду с твердофазным совмещением волокон армирующего и матричного материалов представляет несомненный интерес твердофазное совмещение стеклянных лент и пленок малой толщины (до 0,01 мм) с матричными полипропиленовыми пленками либо с другими термопластичными матрицами (рис. 9) [3]. Ленточный или пленочный вид стеклоармирующего материала обладает низким коэффициентом линейного термического расширения в плоскости ленты, исключительной низкой газопроницаемостью, высокой химстойкостью, что делает термостеклопластики на их основе привлекательными для аэрокосмической, автомобильной, нефтехимической техники. Композиты на основе ленточных и пленочных армирующих материалов имеют коэффициент проницаемости в

100 и более раз меньше, чем у композитов, упрочненных волокнами, что в сочетании с высокой химической и коррозионной стойкостью особенно важно для таких изделий, как контейнеры, сосуды высокого давления, трубопроводы для транспортировки и хранения агрессивных жидкостей и газов.

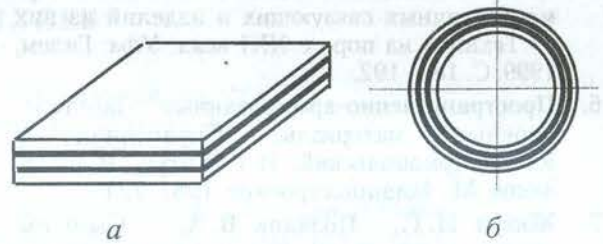


Рис. 9. Пластина на основе стеклянных и полипропиленовых пленок (а) и трубчатое сечение на основе стеклянных лент и полипропиленовой матрицы (б)

Полученные вышеперечисленными методами готовые или полуготовые армирующие каркасы помещаются в соответствующие пресс-формы и подвергаются воздействию давления и необходимой для плавления матричных нитей температуры. После охлаждения и извлечения из формы готового изделия оно пригодно для конечных контрольных испытаний.

Технология готовых форм позволяет сократить время на конструирование изделия, значительно сократить затраты на изготовление и проверку. Гарантии воспроизводимости обеспечиваются технологией ткачества. Указанная технология обладает преимуществами, вытекающими из маневренности и адаптационности твердофазного совмещения и способами (ткаными и неткаными) создания армирующих каркасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головкин Г. С., Гончаренко В. А., Дмитриенко В. П. и др. Волоконная технология переработки термопластичных композиционных материалов / Под ред. Г. С. Головкина. М.: МАИ. 1993. 232 с.
2. Головкин Г. С. Тенденции в развитии и совершенствовании термопластичных композиционных материалов // Композиционные материалы в авиационной и народном хозяйстве: Тр. Всерос. науч.-тех. конф. Казань: Экоцентр, 1999. С. 5–10.

3. Бунаков В. А., Головкин Г. С., Машинская Г. П. и др. Армированные пластики / Под ред. Г. С. Головкина, В. И. Семенова. М.: МАИ, 1997. 404 с.
4. Тканые конструкционные композиты / Пер. с англ.; Под ред. Т.-В. Чу и Ф. Ко. М.: Мир, 1991. 432 с.
5. Первушин Ю. С. Технологии твердофазного совмещения и готовых форм как основа создания стекловолоконных композитов на термопластичных связующих и изделий из них // Техника на пороге XXI века. Уфа: Гилем, 1999. С. 180–192.
6. Пространственно-армированные композиционные материалы: Справочник / Ю. М. Тарнопольский, И. Г. Жигун, В. А. Поляков. М.: Машиностроение, 1987. 224 с.
7. Жигун И. Г., Поляков В. А. Свойства пространственно-армированных пластиков / Под ред. Ю. М. Тарнопольского. Рига: Зинатне, 1978. 215 с.



ОБ АВТОРЕ

Первушин Юрий Сергеевич, профессор кафедры сопротивления материалов УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1958), д-р техн. наук по динамике и прочности машин и аппаратов (Челяб. политехн. ин-т, 1991). Исследования в области механики и термомеханики композиционных материалов, термопластичных композитов.

Информация

Электронные библиотеки мира (продолжение со с. 108)

Библиотека УГАТУ предлагает подборку адресов электронных хранилищ научной информации.

Mathematics Related Servers www.ras.ru/other/math.html

Страничка сайта РАН, на которой приведены ссылки на основные математические серверы мира. Имеется ссылка на поисковую систему MathSearch, которая в Internet ищет математическую информацию по заданным фразам и ключевым словам на английском языке. Система MathSearch содержит коллекцию из 200 тысяч документов. При обращении к ней выдает список адресов сайтов, на которых встречаются заданные в запросе слова.

Automated E-print Archives www.itep.ru

Российское зеркало большого международного автоматизированного сервера препринтов. Основное научное направление сервера — физика, математика, нелинейные науки, компьютеры. Сервер существует с 1992 года. Количество статей на нем увеличивается почти в геометрической прогрессии. Статьи, посылаемые на этот сервер, обрабатываются автоматически и не проходят рецензирования, но их качество довольно высоко. Имеется поисковая система обычного вида.

Журнальная база данных издательства Elsevier www.elsevier.nl

На Российском сайте присутствует лишь часть журналов этого издательства. Всего же издательством Elsevier выпускается около 1200 журналов. Основное направление естественно-научное. Есть поисковая система с обычным и расширенным поиском. Временами допускаются незарегистрированные пользователи.

Журнальная база данных издательства Springer www.link.springer.de

Представлено 365 журналов. Направление естественно-научное. Годы выпуска 1996–2000. Имеется несколько способов произведения поиска. Около двух лет назад первой была открыта для свободного доступа российским пользователям. Последнее время Springer открывает свои базы данных для бесплатного доступа периодически на несколько месяцев.

Журнальная база данных издательства Academic Press www.idealibrary.com

Представлено 262 наименования журналов. Годы выпуска 1996–2000. Общее направление естественно-научное. В настоящее время база данных расширяется и включает 1991–1995. Можно пользоваться только аннотациями. Поисковых систем две: простой поиск и специальный. Уровень журналов очень высок.

Stanford University Library highwire.stanford.edu

База данных журнальных статей со свободным доступом. Основное направление биологическое и медицинское, имеется немного статей по физике и социальным наукам. 700–800 тыс. журнальных статей с разных сайтов. Статей, доступных всем, около 170 тыс. Имеются ссылки на другие базы данных. Собраны ссылки на сайты научного содержания и со свободным доступом к полнотекстовым статьям.

(Продолжение на с. 138)