

СПОСОБЫ И СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**¹Василевич Ю.В., ²Сахоненко В.М., ²Горелый К.А., ²Малютин Е.В., ¹Неумержицкая Е.Ю.**¹*УО «Белорусский национальный технический университет», Минск*²*ОАО «Авангард», Сафоново*

Новые материалы, появление которых, как правило, определяется естественным стремлением повысить эффективность разрабатываемых конструкций, открывают возможности для реализации принципиально новых конструктивных решений и технологических процессов, а дальнейшее совершенствование конструкций и технологий ставит новые задачи перед материаловедением.

Современные композиционные материалы обладают не только широким спектром свойств, выгодно отличающих их от традиционных материалов, но и способностью к направленному изменению этих свойств в соответствии с назначением конструкции. Направленный характер свойств композитов одновременно означает, что наряду с высокими характеристиками в одних направлениях они обладают низкими в других. Однако правильный учет особенностей композитов и рациональное использование их преимуществ позволяет получать конструкции, обладающие высокой степенью весового совершенства и качественным уровнем свойств, недостижимых при использовании традиционных материалов.

Значительное место при исследовании полимерных материалов занимают способы их получения, которые осуществляются путем полимеризации полимеров. В каждом случае получение новых материалов с хорошими, а иногда и с «выдающимися» свойствами, связано с целенаправленным регулированием свойств, которые достигаются путем отработки технологических режимов и процессов. Для целенаправленного регулирования свойств полимерных материалов используется целый ряд способов, позволяющих контролировать их на всех стадиях технологического процесса. В настоящее время достигнуты значительные успехи в создании композиционных материалов с желаемым комплексом свойств (повышенного качества, хорошими физико-механическими и теплофизическими показателями, с высокой стабильностью и долговечностью).

Внимание специалистов многих стран мира все больше привлекают конструкционные материалы в виде ориентированных волокнистых композитов. Предназначены они для изготовления основных и вспомогательных несущих элементов конструкций. Для этого имеется возможность выбора их из целого ряда типов волокнистых структур, получаемых различными текстильными методами. Уникальное сочетание легкости, гибкости, высокой прочности и вязкости разрушения, характерное для текстильных армирующих структур, определило преимущество их применения для широкого спектра изделий – от крыльев самолета до углерод-углеродных носовых обтекателей. Значение текстильных конструкционных композитов все время повышается. Текстили, используемые в качестве арматуры для композитов, проектируются с учетом многочисленных требований, включая стабильность размеров и способность к облеганию заданной формы. Однако, несмотря на то, что способы получения сложных текстильных структур найдены довольно давно, технология изготовления изделий из композитов на их основе развивается медленно. Наблюдается отсутствие фундаментальных исследований по вопросам расчетов на прочность и жесткость текстильных каркасов. Отсутствует синтез знаний специалистов по текстильным материалам и по структурной механике. Композиты можно охарактеризовать как определенную комбинацию разнородных материалов, обладающую специфической структурой и геометрической формой, а текстильные композиты определяются в виде комбинации полимерного связующего с системой волокон или нитей, либо с тканью.

Элементы конструкции из текстильных композитов, воспринимающие основные и вспомогательные нагрузки, должны изготавливаться из высокомодульных волокон или нитей. К числу основных высокомодульных волокон относятся стеклянные, углеродные, органические, керамические и стальные волокна. Каждый из этих видов волокон обладает своими характерными преимуществами и недостатками по сравнению с другими. Например, углеродные волокна самые жесткие и самые хрупкие. Стеклянные волокна самые дешевые, обладают высокой вязкостью разрушения. Поэтому в течение последних 50 лет стеклянные волокна являлись и являются основными общепринятыми конструкционными материалами для множества разнородных изделий из текстильных композитов. Разнообразие типов волокнистых наполнителей и связующих, достаточно большой набор методов и приемов формования изделий позволяют обеспечить наиболее рациональный подход к выбору тех-

нологий и аппаратного оформления процессов производства. Тем не менее, следует отметить и некоторые недостатки этих материалов. К их числу относится значительное рассеяние физико-механических свойств, обусловленное структурной неоднородностью и недостаточной стабильностью процесса формования. Слоистость структур большинства стеклопластиков предопределила их слабое сопротивление межслойному сдвигу. Этот недостаток столь существен, что потребовалась разработка специальных методов механических испытаний, например, для оценки прочности при изгибе. Наличие воздушных или газовых включений, обусловленных существующей технологией формования, а также образование микротрещин в процессе производства и эксплуатации вызывают необходимость оценки герметичности конструкций, а также оценки изменения других свойств материалов в процессе эксплуатации.

Ориентация волокнистого наполнителя и его содержание в полимерной матрице позволяет, с одной стороны, оценить физико-механические свойства материала, а с другой стороны, управлять технологическими параметрами процесса формования изделий, а, следовательно, определять и требования к применяемому оборудованию.

Вопросам оценки свойств связующих посвящено большое число работ. Связующее придает композиционному материалу монолитность, способствует равномерному распределению нагрузки между волокнами, защищает их от химических, атмосферных и других внешних воздействий и само воспринимает часть усилий, развивающихся в материале при работе под нагрузкой. Обширный перечень отечественных и зарубежных связующих с указанием их свойств и некоторых технологических особенностей переработки предоставляет разработчикам возможность выбора марки связующего, наиболее приемлемой для решения конкретных задач.

Важнейшую роль в пластике играет характер и ориентация расположения наполнителя в матрице, приводящие к анизотропии свойств композита. Анизотропия стеклопластиков (конструктивная анизотропия) оказывается еще одним регулируемым параметром, лишней «степенью» свободы при конструировании полимерных материалов и конструкций на их основе. Другим преимуществом перед обычными изотропными материалами является эффективное управление анизотропией их механических, теплофизических и других свойств в плоскости армирования. Это дает дополнительные резервы в повышении надежности конструкций, снижении их массы и расширении области применения. Управление анизотропией свойств осуществляется варьированием укладки арматуры.

Появляется возможность формировать свойства материала под конкретную деталь под ее напряженно-деформированное состояние, что обеспечивает повышение несущей способности изделия и приводит к существенному снижению его массы. При этом использование ПКМ предоставляет возможность широкого выбора исходных компонентов и структурных схем армирования композитного материала, технологических способов формообразования изделия и получения требуемой геометрии поверхности конструкции, что дает большую степень свободы разработчику при проектировании изделия. Основным методом изготовления слоистых обшивок, панелей и профилей планера самолета из ПКМ является контактное формование путем ручной или автоматической выкладки листового препрега на плоскую, негативную или позитивную поверхность оправки и последующего автоклавного отверждения изделия. Многослойные композитные оболочки трубопроводов, корпусов двигателей и баллонов давления изготавливаются методом намотки. Это высокопроизводительный процесс, который легко поддается автоматизации и позволяет снизить трудоемкость и стоимость изготовления изделий за счет сокращения числа деталей, входящих в конструкцию, и числа сборочных операций, а также свести к минимуму механическую обработку и значительно повысить коэффициент использования материала.

В современном производстве для композиционно-волокнистого материала (КМ) применяют наполнители, получаемые на основе: 1) прядей или нитей, изготовленных из волокон, а также ровницы (жгутов), 2) тканей и 3) матов (холстов). В первом случае КМ получается путем послойной укладки семейств однонаправленных нитей. В результате образуется слоистая структура взаимно перпендикулярных семейств нитей, у которых отсутствует взаимное переплетение. Во втором случае рассматриваются ортотропные структуры из композиционных материалов, которые представляют собой многослойные среды на основе тканей, имеющих упорядоченное расположение волокон. Все слои сориентированы в одном направлении. Эта система пропитана полимерным связующим. Необходимо отметить, что тканые материалы создаются из нитей и первоначально обладают высокой гибкостью. Существуют две причины этой гибкости: 1) гибкость самой нити, состоящей из тонких параллельных волокон, движение которых ограничивается только трением между ними при деформировании, 2) структура ткани создается путем переплетения нитей без жесткой связи в местах пере-

плетения. Это означает, что перемещение отдельных нитей или волокон в структуре, вызванное усилиями, приложенными к ткани, имеют свойства, аналогичные свойствам тела с подвижной структурой. Для построения модели расчета препрегов возьмем за основу иерархическую структурную организацию этих материалов. Композиты в принципе можно охарактеризовать как определенную комбинацию разнородных материалов, обладающую специфическими структурой и геометрической формой. Если пренебречь молекулярными эффектами в волокнах и характерными чертами изделий в целом, то в общем случае можно выделить четыре основных уровня: волокно → нить → ткань → композит. Первый уровень включает моноволокно, образованное вытяжкой через одну фильеру из расплава с последующей обработкой, обеспечивающей фиксацию формы. Волокна собираются в нити, которые составляют второй уровень рассмотрения. Наиболее важный тип нитей, пригодных для переработки в композиты, - многоволоконные нити, экструдированные из прядильной головки с большим количеством отверстий. Нить, как правило, содержит около 1000 элементарных волокон. Пучки параллельных элементарных волокон обладают когезионной прочностью в поперечном направлении и легко разделяются на отдельные ленты, которые, конечно, не отличаются особыми признаками, так как легко делятся на еще меньшие ленты или объединяются в большие пряжи. Поэтому, при производстве волокон имеет смысл воздействовать на группу волокон так, чтобы поддержать целостность, определенную плотность и приблизительно круглое сечение нити. Традиционно этого добиваются незначительной круткой (порядка 1 об/см), однако по новейшей методике нить пропускают через воздушное сопло, что обеспечивает образование своего рода переплетения, геометрически представляемого как нерегулярное «ложное плетение», поскольку траектории волокон остаются раздельными и невзаимосвязанными. Небольшая не прямолинейность волокон, появляющаяся в результате этих процессов, не оказывает существенного влияния на свойства при растяжении, если волокна однородны. Реакция пучка параллельных волокон на растягивающую нагрузку равна сумме реакций отдельных волокон, а вклад системы волокон в целом входит через статистические эффекты изменчивости свойств от волокна к волокну и вдоль волокна. Причина высокой прочности стеклянного волокна кроется в технологии его получения и связана с высокой скоростью механической вытяжки расплава стеклянной массы, увеличением скорости охлаждения волокна и уменьшением диаметра получаемых нитей. В современном производстве используются волокна диаметром 3 – 11 мкм.

Следующий уровень представляют ткани, трикотажные, плетеные материалы, полученные с помощью специальных способов переплетения нитей. Строение ткани определяется совокупностью различных факторов, в том числе геометрическими характеристиками взаимного расположения нитей основы и утка с перегибами друг на друга при переходе с одной стороны ткани на другую. При перегибах друг на друга согласно закономерности переплетения между натянутыми нитями основы и утка возникают силы взаимного давления. В результате этого возникают силы трения и сцепления между нитями, которые удерживают отдельные нити в ткани как в едином целом изделии. Строение ткани зависит от следующих основных факторов: сырьевого состава нитей; вида нитей и способа их получения; линейной плотности нитей, текст; формы и размеров поперечного сечения нитей; физико-механических свойств нитей; переплетения нитей в ткани; плотности нитей в ткани по основе и по утку; технологических параметров выработки ткани на ткацком станке (натяжение нитей, форма зева, частота вращения главного вала станка и т.д.).

Формирование стеклянной ткани, как и всякой другой ткани, происходит в результате взаимного переплетения двух семейств нитей (основы и утка). Основные нити располагаются вдоль ткани, уточные нити – в поперечном направлении ткани. Переплетением называется определенный порядок чередования перекрытий одной системы нитей с нитями другой системы. Переплетение нитей в ткани определяет ее строение. При выработке тканей используют разнообразные переплетения. Их делят обычно на четыре класса: простые (главные), мелкоузорчатые, сложные и крупноузорчатые.

К простому (главному) переплетению относятся: полотняное, саржевое и атласное (сатиновое). Полотняное переплетение является одним из наиболее простых и распространенных. Основные и уточные нити в нем чередуются через одну, что обеспечивает достаточную прочность ткани.

Резюме

Изложены способы и дан анализ структурной организации тканых материалов при создании композиционных материалов.

Summary

Set out the methods and the analysis of the structural organization of woven fabrics to create composites.

Поступила в редакцию 09.12.2012