

УДК 666.982

А. В. КОЛОМИЕЦ, магистр технических наук, А. С. НЕВЕРОВ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Представлен обзор научной информации в области разработки композиционных материалов, проведен анализ их преимуществ и недостатков. Рассмотрены вопросы влияния состава, строения, методов получения на область применения композиционных материалов. В результате объединения армирующих элементов и связующего материала образуется комплекс свойств композита, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий ряд свойств, которыми исходные компоненты не обладают.

В начале XXI века задаются вопросом о будущих строительных материалах. Бурное развитие науки и техники затрудняет прогнозирование: еще четыре десятилетия назад не было широкого применения полимерных строительных материалов, а о современных «истинных» композитах было известно только узкому кругу специалистов. Тем не менее, можно предположить, что основными строительными материалами также будут металл, бетон и железобетон, керамика, стекло, древесина, полимеры. Строительные материалы будут создаваться на той же сырьевой основе, но с применением новых рецептур компонентов и технологических приемов, что даст более высокое эксплуатационное качество и соответственно долговечность и надежность. Будут максимально использоваться отходы различных производств, отработавшие изделия, местный и домашний мусор. Строительные материалы будут выбираться по экологическим критериям, а их производство будет основываться на безотходных технологиях.

Уже сейчас имеется обилие фирменных названий отделочных, изоляционных и других материалов, которые в принципе отличаются только составом и технологией. Этот поток новых материалов будет увеличиваться, а их эксплуатационные свойства совершенствоваться.

Композиционный материал (composite – англ. *сложный, составленный из чего-либо*) – неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов [1].

Механическое поведение композита определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Эффективность и работоспособность материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композита, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не к сни-

жению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения [2].

Преимущества композиционных материалов:

- большая удельная прочность;
- высокая жёсткость (модуль упругости – 130–140 ГПа);
- повышенная износостойкость;
- высокая усталостная прочность;
- возможность изготовления размеростабильных конструкций.

Причем разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами. Некоторых преимуществ невозможно добиться одновременно.

Большинство классов композитов (но не все) имеют различные недостатки: высокая стоимость; анизотропия свойств; повышенная наукоемкость производства; необходимость специального дорогостоящего оборудования и сырья, а следовательно, развитого промышленного производства и научной базы страны.

Композиты – многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др. [4]. Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. Использование в одном материале нескольких матриц (поли-матричные композиционные материалы) или наполнителей различной природы (гибридные композиционные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композиционных материалов. Армирующие наполнители воспринимают основную долю нагрузки композиционных материалов.

По структуре наполнителя композиционные материалы подразделяют на волокнистые (армированы волокнами и нитевидными кристаллами), слоистые (армированы пленками, пластинками, слоистыми наполнителями), дисперсно-армированные, или дисперсно-упрочненные (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц) [6]. Матрица в композиционных материалах обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжения в наполнителе, определяет тепло-, влаго-, огне- и химическую стойкость.

По природе матричного материала различают полимерные, металлические, углеродные, керамические и другие композиты.

Наибольшее применение в строительстве и технике получили композиционные материалы, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами. К ним относят полимерные композиционные материалы на основе терморезактивных (эпоксидных, полиэфирных, феноло-формальдегидных, полиамидных и др.) и термопластичных связующих, армированных стеклянными (стеклопластики), углеродными (углепластики), органическими (органопластики), борными (боропластики) и другими волокнами; металлические композиционные материалы на основе сплавов Al, Mg, Cu, Ti, Ni, Cr, армированных борными, углеродными или карбидокремниевыми волокнами, а также стальной, молибденовой или вольфрамовой проволокой [3].

Композиционные материалы на основе углерода, армированного углеродными волокнами (углерод-углеродные материалы); композиционные материалы на основе керамики, армированной углеродными, карбидокремниевыми и другими жаростойкими волокнами и SiC. При использовании углеродных, стеклянных, арамидных и борных волокон, содержащихся в материале в количестве 50–70 %, созданы композиции (таблица 1) с удельной прочностью и модулем упругости, в 2–5 раз большими, чем у обычных конструкционных материалов и сплавов.

Таблица 1 – Свойства некоторых композиционных материалов

Матрица	Армирующий наполнитель	Плотность, г/см ³	$\delta_{\text{раст.}}$, ГПа	Модуль упругости, ГПа
<i>Полимерные</i>				
Эпоксидная	Стеклоанное волокно	1,9–2,2	1,2–2,5	50–68
	Органическое (арамидное)	1,3–1,4	1,7–2,5	75–90
	Углеродное волокно	1,4–1,5	0,8–1,5	120–220
	Борное волокно	2,0–2,1	1,0–1,7	220
<i>Металлические</i>				
Алюминиевая	Борное волокно	2,6	1,0–1,5	220–250
	Углеродное волокно	2,3	0,8–1,0	200–220
Магниева	Борное волокно	2,0	0,7–1,0	200–220
	Углеродное волокно	1,8	0,6–0,8	180–220
Никелевая	Вольфрамовая проволока	12,5	0,8	265
	Молибденовая проволока	9,3	0,7	235
<i>Углеродные</i>				
Углеродная	Углеродное волокно	1,5–1,8	0,3–1,0*	120–220
<i>Керамические</i>				
Керамическая	Волокно карбида кремния	3,2	0,48*	
*Прочность при изгибе.				

Кроме того, волокнистые композиционные материалы превосходят металлы и сплавы по усталостной прочности, термостойкости, виброустойчивости, шумопоглощению, ударной вязкости и другим свойствам. Так, армирование сплавов Al волокнами бора значительно улучшает их механические характеристики и позволяет повысить температуру эксплуатации сплава с 250–300 до 450–500 °С. Армирование проволокой (из W и Mo) и волокнами тугоплавких соединений использу-

ют при создании жаропрочных композиционных материалов на основе Ni, Cr, Co, Ti и их сплавов. Так, жаропрочные сплавы Ni, армированные волокнами, могут работать при 1300–1350 °С. При изготовлении металлических волокнистых композиционных материалов нанесение металлической матрицы на наполнитель осуществляют, в основном, из расплава материала матрицы электрохимическим осаждением или напылением. Формование изделий проводят глубинной обработкой методом пропитки каркаса из армирующих волокон расплавом металла под давлением до 10 МПа или соединением фольги (матричного материала) с армирующими волокнами с применением прокатки, прессования, экструзии при нагревании до температуры плавления материала матрицы.

Один из общих технологических методов изготовления полимерных и металлических, волокнистых и слоистых композиционных материалов – выращивание кристаллов наполнителя в матрице непосредственно в процессе изготовления деталей. Такой метод применяют, например, при создании эвтектических жаропрочных сплавов на основе Ni и Co. Легирование расплавов карбидными и интерметаллическими соединениями, образующимися при охлаждении в контролируемых условиях волокнистые или пластинчатые кристаллы, приводит к упрочнению сплавов и позволяет повысить температуру их эксплуатации на 60–80 °С. Композиционные материалы на основе углерода сочетают низкую плотность с высокой теплопроводностью, химической стойкостью, постоянством размеров при резких перепадах температур, а также с возрастанием прочности и модуля упругости при нагреве до 2000 °С в инертной среде.

Высокопрочные композиционные материалы на основе керамики получают при армировании волокнистыми наполнителями, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами. Армирование непрерывными волокнами SiC позволяет получать композиционные материалы, характеризующиеся повышенной вязкостью, прочностью на изгиб и высокой стойкостью к окислению при высоких температурах. Однако армирование керамики волокнами не всегда приводит к значительному повышению ее прочностных свойств из-за отсутствия эластичного состояния материала при высоком значении его модуля упругости. Армирование дисперсными металлическими частицами позволяет создать керамико-металлические материалы (керметы), обладающие повышенной прочностью, теплопроводностью, стойкостью к тепловым ударам. При изготовлении керамических композиционных материалов обычно применяют горячее прессование, прессование с последующим спеканием, шликерное литье. Армирование материалов дисперсными металлическими частицами приводит к резкому повышению прочности вследствие создания барьеров на пути движения дислокаций. Такое армирование глубинной обработкой применяют при создании жаропрочных хромоникелевых сплавов. Материалы получают введением тонкодисперсных частиц в расплавленный металл с последующей обычной переработкой слитков в изделия. Введение, например, ThO₂ или ZrO₂ в сплав позволяет получать дисперсно-упрочненные жаропрочные сплавы, длительно работающие под нагрузкой при 1100–1200 °С (предел работоспособности

обычных жаропрочных сплавов в тех же условиях – 1000–1050 °С).

Перспективное направление создания высокопрочных композиционных материалов – армирование материалов нитевидными кристаллами («усами»), которые вследствие малого диаметра практически лишены дефектов, имеющих в более крупных кристаллах, и обладают высокой прочностью. Наибольший практический интерес представляют кристаллы Al_2O_3 , BeO , SiC , B_4C , Si_3N_4 , AlN и графита диаметром 1–30 мкм и длиной 0,3–15 мм. Используют такие наполнители в виде ориентированной пряжи или изотропных слоистых материалов наподобие бумаги, картона, войлока. Композиционные материалы на основе эпоксидной матрицы и нитевидных кристаллов ThO_2 (30 % по массе) имеют $\delta_{раст.} = 0,6$ ГПа, модуль упругости 70 ГПа. Введение в композицию нитевидных кристаллов может придавать ей необычные сочетания электрических и магнетических свойств. Выбор и назначение композиционных материалов во многом определяются условиями нагружения и температурой эксплуатации детали или конструкции, технологическими возможностями. Наиболее доступны и освоены полимерные композиционные материалы.

Большая номенклатура матриц в виде терморезистивных и термопластичных полимеров обеспечивает широкий выбор композиционных материалов для работы в диапазоне от отрицательных температур до 100–200 °С – для органопластиков, до 300–400 °С – для стекло-, угле- и боропластиков. Полимерные композиционные материалы с полиэфирной и эпоксидной матрицей работают до 120–200 °С, с феноло-формальдегидной – до 200–300 °С, полиамидной и кремнийорганической – до 250–400 °С. Металлические композиционные материалы на основе Al , Mg и их сплавов, армированные волокнами из B , C , SiC , применяют до 400–500 °С; композиционные материалы на основе сплавов Ni и Co работают при температуре до 1100–1200 °С, на основе тугоплавких металлов и соединений – до 1500–1700 °С, на основе углерода и керамики – до 1700–2000 °С [5]. Использование композитов в качестве конструкционных, теплозащитных, антифрикционных, радио- и электротехнических и других материалов позволяет снизить массу конструкции, повысить ресурсы и мощности машин и агрегатов, создать принципиально новые узлы, детали и конструкции. Все виды композиционных материалов применяют в химической, текстильной, горнорудной, металлургической промышленности, машиностроении, на транспорте, для изготовления спортивного снаряжения и др.

Получено 20.12.2013

A. V. Kolomiets, A. S. Neverov. Influence of features of composite materials on their area of application.

Provides an overview of the scientific information concerning research in the field of composite materials, the analysis of their advantages and disadvantages. The questions of the effect of composition, structure, methods of producing on a scope of composite materials. The merger of the reinforcing elements and a binder material properties of the composite complex is formed, not only reflecting the original characteristics of its components, but also includes a number of properties that do not have the original components.

Преимущества композиционных материалов хорошо проявляются и в строительстве. Композитная арматура утвердилась на строительном рынке благодаря доказанному сопротивлению коррозии. Новые и обновленные конструкторские руководства и тестовые протоколы облегчают инженерам выбор армированных пластиков.

Усиленные волокнами пластики (стеклопластик, базальтопластик) с давних пор рассматривались как материалы, позволяющие улучшить характеристики бетона.

Композитная арматура – признанная технология. За последние 20 лет композитная арматура перешла от экспериментального прототипа к эффективному заменителю стали во многих проектах, особенно в связи с повышением цен на сталь. Стеклопластиковая арматура часто используется, и это очень конкурентный рынок.

Для некоторых конструкторских проектов, таких как оборудование для магниторезонансной томографии в больницах, или приближение к будкам-пунктам взимания дорожной оплаты, которые используют технологию радиочастотной идентификации для определения уже оплативших покупателей, композитная арматура является единственным выбором. Стальная арматура не может быть использована, потому как интерферирует с электромагнитными сигналами. В добавление к электромагнитной прозрачности, композитная арматура также необычайно стойкая к коррозии, легкая по весу – около одной четверти от веса аналогичной стальной, и является теплоизолятором, потому как препятствует протеканию тепла в строительных конструкциях [1].

Список литературы

- 1 Строительное материаловедение : учеб. пособие / под общей ред. В. А. Невского. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 571 с.
- 2 Свойства растворов полимеров в хороших и плохих растворителях и свойства изделий, полученных из этих растворов / М. П. Зверев [и др.] // Высокомолек. соед. – 1974. – Т. 16А, № 3. – С. 511–517.
- 3 Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии : учеб. для вузов / Д. А. Фридрихсберг. – Л. : Химия, 1984. – 368 с.
- 4 Тагер, А. А. Проблемы многокомпонентных полимерных систем / А. А. Тагер // Успехи химии и технологии полимеров. – М. : Химия, 1970. – С. 80–99.
- 5 Годовский, Ю. К. Теплофизические методы исследования полимеров / Ю. К. Годовский. – М. : Химия, 1976. – 216 с.
- 6 Кузнецова, Т. В. Физическая химия вяжущих материалов : учебник для хим.-технол. спец. вузов / Т. В. Кузнецова. – М. : Высш. шк., 1989. – 384 с.