

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ВОЛОКОН

Композиционными называют материалы, состоящие из двух или более компонентов или фаз. Помимо того, что композиционные материалы должны состоять из двух и более компонентов, материал следует считать композиционным в том случае, если соблюдается ряд дополнительных условий: во-первых, доля каждого компонента не должна быть ниже некоторого значения (ориентировочно 5...10%); во-вторых, свойства составляющих компонентов должны существенно различаться, и, вследствие этого, свойства самих композиционных материалов должны заметно отличаться от свойств исходных компонентов [1].

Непрерывная фаза называется матрицей, а второй компонент – наполнителем, или армирующей фазой, роль которой заключается в изменении в нужном для практических целей направлении свойств матрицы.

Композиционные материалы могут иметь керамическую, металлическую или полимерную матрицу. В зависимости от применяемой матрицы механические свойства этих трех классов композиционных материалов значительно различаются. Полимерные матрицы имеют сравнительно невысокие прочность и модуль упругости; керамические матрицы обладают высокой прочностью и жесткостью, но являются очень хрупкими; металлические матрицы имеют промежуточные значения прочности, модуля упругости и весьма пластичны.

Наполнитель в виде волокон или частиц обычно изготавливают из прочных и жестких материалов (углерод, стекло, арамид, полиэтилен, сталь, бор, карбид кремния, оксид алюминия и др.). Для получения композиционных материалов применяются непрерывные или короткие волокна с небольшим отношением длины к диаметру. Волокна в матрице могут быть случайно расположенными или иметь преимущественное направление ориентации. Если они располагаются в матрице в одном направлении, то такой композиционный материал называют однонаправленным. При использовании в качестве наполнителя ткани с двунаправленным расположением волокон композиционный материал называют двуслоноармированным.

Композиционные материалы на основе фибры (волокон) изготавливаются из продолговатых микроволокон, омоноличенных в отверждающем полимере, связывающем их в единое целое. Наиболее распространенными типами волокон являются углеродные, арамидные и стекловолокна. В качестве отверждающего полимера чаще всего используются эпоксидные и полиакрилонитриловые смолы. В зависимости от типа волокон (фибры), используемых для изготовления композиционного материала (КМФ), их подразделяют на композиционные материалы на основе углеродных волокон (КМФУ), арамидных волокон (КМФА) и стекловолокон (КМФС). В зарубежной научно-технической литературе такие материалы получили название FRP (fibre reinforced polymer).

В композиционных материалах на основе стекловолокон используются кварцевые стекла. Стекловолокна, предназначенные для внешнего армирования, подразделяются на три типа: Е-стекловолокно, А-стекловолокно и АR-стекловолокно, имеющее высокую сопротивляемость щелочным воздействиям. Е-стекловолокно хорошо работает в водных растворах и плохо сопротивляется щелочной и кислотной агрессии. А-стекловолокно является более прочным и жестким, но практически не выдерживает щелочных

воздействий. В АR-стекловолокно для предотвращения негативных воздействий щелочной агрессии на контакте с усиливаемой железобетонной конструкцией вводится значительное количество циркония. Прочностные и деформационные свойства этого стекловолокна сопоставимы с Е-стекловолокном. Достоинство всех стекловолокон – их относительно небольшая стоимость.

Арамидные волокна выпускаются различными производителями под разными торговыми марками – кевлар, тварон, технора. По химической структуре арамиды аналогичны нейлону. Эти волокна анизотропны по своей структуре и по сравнению с другими имеют более высокие прочность и модуль упругости в поперечном направлении. Они более пластичны при действии растягивающих нагрузок, но при сжатии остаются упругими вплоть до разрушения. Арамидные волокна обладают хорошей выносливостью и жесткостью, а также низкими электро- и теплопроводностью.

Углеродные волокна изготавливаются из различных исходных материалов, называемых прекурсорами. Механические свойства волокон сильно зависят от прекурсора и условий карбонизации, т.е. от степени насыщения исходного материала углекислым газом, так как они определяют степень дефектности образующегося кристалла.

Существует три основных типа прекурсоров: первый тип изготавливается из очищенной нефти или угля (пеков); второй тип – полиакрилонитриловые волокна (ПАН-волокна), которые изготавливаются из полиакрилонитрильного прекурсора путем его карбонизации под воздействием высокой температуры; третий тип прекурсора – целлюлозные волокна. Но так как процесс разложения (пиролиза) целлюлозы весьма сложен, то и объемы производства углеродного волокна по этой технологии невелики.

Количество углеродных волокон, производимых на различных технологиях, очень велико, к тому же постоянно появляются новые виды. В последнее время разработаны спиралевидные волокна, способные к удлинению в несколько раз без потери жесткости [1].

Роль полимера сводится к передаче действующих напряжений между волокнами и их защите от внешних воздействий. Для отверждения волокон чаще всего используются эпоксидные, полиэфирные, полиамидные и фенольные составы. Все они обладают хорошей сопротивляемостью различным химическим воздействиям. Эпоксидные составы обладают лучшими механическими свойствами, а полиамидные составы более дешевы.

Наиболее распространенными формами применяемых композиционных материалов являются холсты различного плетения и полосы или пластины. Холсты представляют собой гибкую ткань с одно- или двунаправленным расположением волокон. Полосы или пластины – это изготовленные в заводских условиях изделия из композиционного материала, непосредственно приклеиваемые на заранее подготовленную поверхность усиливаемой конструкции. Объемное содержание армирующих волокон в полимерной матрице колеблется от 25-35% в холстах до 50-70% в полосах. Помимо холстов и полос из композиционных материалов изготавливают гладкую и рифленую арматуру, проволоку, канаты, пряди, каркасы, оболочки для создания обоем при усилении колонн, цельные каркасы для усиления обделок подземных тоннелей различного назначения. Эти виды композиционных материалов в основном используют при новом строительстве, заменяя обычную стальную арматуру в условиях предполагаемого агрессивного воздействия внешней среды.

Физико-механические свойства композиционных материалов определяются типом и количеством применяемых волокон, их ориентацией и распределением в поперечном сечении ленты, а также объемным соотношением волокон и отверждающего полимера в композите. Типичные механические свойства применяемых в строительстве волокон композиционных материалов приведены в таб. 1, а отверждающих полимеров – в табл. 2.

Таблица 1 – Типичные свойства волокон композиционных материалов

Тип фибры	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м ³
Углерод с высокой прочностью*	4300 – 4900	230 – 240	1,9 – 2,1	1,8
Углерод с высоким модулем упругости*	2740 – 5490	294 – 329	0,7 – 1,9	1,78 – 1,81
Углерод с высоким модулем упругости**	2600 – 4020	540 – 640	0,4 – 0,8	1,91 – 2,12
Арамид***	3200 – 3600	124 – 130	2,4	1,44
Стекло	2400 – 3500	70 – 85	3,5 – 4,7	2,6

- * На полиакрилонитриловой матрице.
- ** На матрице из эпоксидной смолы.
- *** Арамид может иметь ту же прочность с меньшим модулем упругости.

Таблица 2 – Свойства отверждающихся полимеров

Физико-механические свойства полимеров	Фирма-производитель				
	MBT	SBD	DML composites	Sika	Sumitomo
Прочность на растяжение, МПа	50	17	81	30	29
Прочность при изгибе, МПа	120	28	—	—	—
Модуль упругости при изгибе, ГПа	3	5	—	3,8	2,5
Температура стеклования, °С	55	60, 60	59	53	55

Важным качеством композиционных материалов является их упругое деформирование, вплоть до разрушения. На рисунке 1 приведена типичная диаграмма деформирования для различных композиционных материалов и арматурной стали. Как видно из приводимых графиков, КМФ не обладают пластическими свойствами стали, и их разрушение носит хрупкий характер. Также необходимо иметь в виду, что упругий характер деформирования композиционного материала не способствует перераспределению напряжений в конструкции.

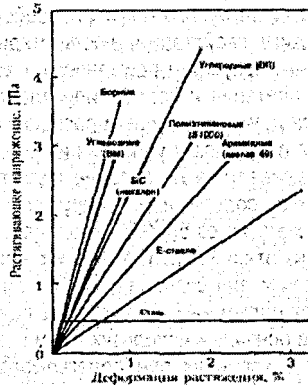


Рисунок 1 – Диаграмма «напряжение - деформация» для различных типов КМФ и арматурной стали

Стойкость к химическим воздействиям. Углеродные и арамидные волокна хорошо сопротивляются многим химическим воздействиям: щелочам, кислотам, хлоридам, сульфатам, нитратам и др. Многие типы стекловолокон подвержены щелочной коррозии

(при $\text{pH} > 11$), но мало поддаются воздействию солей. Арамид по сравнению с другими волокнами обладает большей водонепроницаемостью. Большая концентрация солей может привести к изменению кристаллической решетки у всех типов волокон.

Деформирование при сжатии. Испытания композиционных материалов, используемых для восстановления и усиления железобетонных конструкций, показали, что прочность на сжатие меньше прочности на растяжение [2]. В среднем прочность на сжатие составляет от прочности на растяжение для КМФУ – 78%, для КМФС – 55% и для КМФА – 20%.

Сопротивление ударным нагрузкам. Поведение волокон во время приложения ударной нагрузки определяется полученной ими энергией при упругом деформировании. Волокна, сочетающие высокую прочность на растяжение (более 3500 МПа) и значительное относительное удлинение (более 2%), являются благоприятным материалом для восприятия ударной нагрузки. Этим требованиям отвечают многие типы углеродных, арамидных и стекловолокон.

Воздействие огня. Стекловолокна сохраняют свою прочность вплоть до точки плавления (более 1000°C), тогда как углеродные волокна окисляются на воздухе при температуре около 275°C. Арамидные волокна не могут использоваться при температуре выше 200°C.

Реологические свойства. Все композиционные материалы в той или иной степени обладают ползучестью, то есть со временем их прочность на растяжение снижается. При этом время ретардации зависит от неблагоприятных внешних воздействий – высокой или низкой температуры, ультрафиолетового облучения, щелочного воздействия, циклов «замораживание - оттаивание». При длительных испытаниях (более 500 000 ч) коэффициент длительной прочности составил для КМФС – 0,3, для КМФА – 0,47 и для КМФУ – 0,91. То есть углеродные волокна практически не подвержены ползучести.

Безопасность и санитария. Все типы волокон не представляют опасности для здоровья в условиях нормальной эксплуатации. При непосредственном выполнении работ по усилению отдельные части фибры могут привести к раздражению кожи, глаз и слизистых оболочек. Арамидные, углеродные и стекловолокна являются инертными материалами, не содержащими токсических веществ. Они не содержат вредных примесей, способных загрязнять воздух или проникать в почву.

Анализируя свойства композиционных материалов, можно сделать следующие основные выводы:

- композиционные материалы обладают высокими прочностью на растяжение и модулем упругости, сопоставимыми или даже превосходящими аналогичные показатели стали;
- плотность у них в 3-5 раз меньше, чем у стали;
- из-за своей малой плотности практически не увеличивают массу конструкции, а следовательно, и постоянную нагрузку от собственного веса;
- не подвержены агрессивному воздействию внешней среды, в том числе коррозии;
- обладают хорошей выносливостью и способностью воспринимать многократно повторяющиеся нагрузки;
- в сочетании с усиливаемой конструкцией хорошо воспринимают сейсмические воздействия, а также ударные и взрывные нагрузки;
- могут повторять практически любые формы усиливаемой конструкции;
- не требуют громоздких приспособлений для их монтажа, трудоемкость их установки минимальна;
- во многих случаях позволяют производить работы по ремонту и усилению строительных конструкций с минимальными перерывами в эксплуатации сооружения;

- легко грузятся, транспортируются и доставляются непосредственно к месту установки;
- могут быть предварительно напряжены в процессе установки на усиливаемую конструкцию.

В связи с этим данные материалы нашли широкое применение в мире (например, в Австрии, Бельгии, Великобритании, Германии, Канаде, Польше, США, Франции, Чехии, Японии и др.) для восстановления несущей способности и усиления строительных конструкций различных инженерных сооружений – промышленных и гражданских зданий, мостов, труб, бункеров, причальных сооружений, тоннелей различного назначения, городских подземных сооружений, используются при реставрации памятников архитектуры. В Швейцарии они применяются уже в более чем 80% случаев усиления всех железобетонных строительных конструкций.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мэттьюз, Ф. Композитные материалы. Техника и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
2. Wu, W. Termomechanical Properties of Fiber Reinforced Plastics (FRP) Bars. PhD dissertation / West Virginia University. – Morgantown, W.Va., 1990. – 292 p.
3. Шилин, А.А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Картузов. – М.: Стройиздат, 2007. – 179 с.

УДК 69.003.12

Пенталь В.Ч., Кузьмин А.В.

Научный руководитель: доцент Срывкина Л.Г.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СМЕТ НА ОСНОВЕ РЕСУРСНОГО МЕТОДА

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 11.08.2011 № 361 «О совершенствовании порядка определения стоимости строительства объектов и внесении изменений в некоторые указы Президента Республики Беларусь» [1] с 1 января 2012 г. осуществлен переход к составлению сметной документации на основе ресурсного метода с использованием нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении (НРР).

Рассмотрим особенности составления локальных смет с применением НРР в сопоставлении с ранее действовавшим порядком составления локальных смет на основе ресурсно-сметных норм (РСН) путем сравнения соответствующих инструкций по определению сметной стоимости (таблица 1).

Нами было выполнено сравнение показателей стоимости выполненных работ с применением старой и новой нормативной базы по одному из проектно-технологических модулей (ПТМ) для конкретного объекта.

Для расчета был выбран объект – «81-квартирный жилой дом в районе технического университета в г. Бресте».

Расчет велся для ПТМ «Стены», расчетный месяц – март 2012 г., был учтен весь комплекс работ по кладке наружных и внутренних стен и укладке перемычек для расматриваемого объекта.

Для сравнения рассчитаны акты сдачи-приемки выполненных работ формы С-2 в трех вариантах:

- 1) с применением НРР;
- 2) с применением ресурсно-сметных норм 2006 г. и пересчетом в текущие цены базисно-индексным методом для объектов, финансируемых из небюджетных средств;
- 3) то же, финансируемых их бюджетных средств.