

ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия композиты активно вошли в нашу жизнь и заменили традиционные материалы в энергетике, транспорте, электронике и других сферах деятельности.

Композиционные материалы (КМ) – это материалы из двух, трех и более разнородных фаз (веществ) в одном объеме. Они однородны в макромасштабе, но гетерогенны в микромасштабе. В настоящее время к числу композиционных материалов принято относить сравнительно небольшую группу материалов – полимеры, металлы, керамику и углерод, армированные волокнами, а так же наполненные полимеры, дисперсно-упроченные сплавы и псевдосплавы. Отличие большинства композиционных материалов от традиционных, состоит в том, что процесс их изготовления может быть совмещен с процессом изготовления изделия.

Быстро растущая востребованность композиционных материалов, требует подготовки специалистов в данной области. Предлагаемый цикл лекций предназначен для углубленной подготовки специалистов в области получения, применения композиционных материалов, создания конструкций из них. В курсе рассматриваются история и принципы создания композиционных материалов (КМ); виды и материалы дисперсных и волокнистых включений; материалы матрицы; сочетание различных включений и матрицы в одном КМ; технология изготовления КМ и их свойства; прогнозирование состава и технологии КМ с заданными свойствами; применение композиционных материалов.

Отличительные признаки композиционных материалов

Современное определение композиционных материалов предполагает выполнение следующих условий.

- Композиция должна представлять собой сочетание хотя бы двух разнородных материалов с четкой границей раздела между фазами.
- Компоненты композиции образуют ее своим объемным сочетанием.
- Композиция должна обладать свойствами, которых нет ни у одного из ее компонентов в отдельности.

Композиционными (от лат. *compositio* - составление) называют материалы, образованные из двух или более разнородных фаз и обладающие характеристиками, не присущими исходным компонентам. Данное определение хорошо отражает идею композита, но является слишком широким, поскольку охватывает подавляющее большинство материалов и сплавов (например, стали, чугун, бетон и др.). Сплавы не считаются композитами, поскольку это материалы на основе смеси индивидуальных веществ.

Более правильным будет другое определение:

Композиты - объемное монолитное искусственное сочетание разнородных по форме и свойствам двух и более материалов (компонентов), с четкой границей раздела, использующее преимущества каждого из компонентов и проявляющее новые свойства, обусловленные граничными процессами.

По определению: *Композиционный материал (композит) представляет собой 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.* То есть, под композиционным материалом понимается только такой материал, в котором имеется граница раздела между составляющими его материалами.

В БСЭ есть следующее определение КМ. *Композиционные материалы (композиты) (от лат. compositio- составление), многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической. или др. основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др.*

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 (полиматричные композиционные материалы) или наполнителей различной природы (гибридные композиционные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композиционных материалы

К композиционным относятся материалы, обладающие следующей совокупностью признаков:

- не встречаются в природе, поскольку созданы человеком; состоят из двух или более компонентов, различающихся по своему химическому составу и разделенных выраженной границей;
- имеют новые свойства, отличающиеся от свойств составляющих их компонентов;
- неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе;
- состав, форма и распределение компонентов «запроектированы» заранее;
- свойства определяются каждым из компонентов, которые в связи этим должны быть в материале в достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания).

Компонент, непрерывный во всем объеме КМ, называется матрицей, прерывистый, разъединенный в объеме композиции,— арматурой или

армирующим элементом. Понятие «армирующий» означает «введенный в материал с целью изменения его свойств» (не обязательно «упрочняющий»).



Рис. 1. Относительная площадь и форма сечений некоторых видов армирующих волокон

Обычно композиты представляют собой основу (матрицу) из одного материала, армированную наполнителями из волокон, слоев, диспергированных частиц другого материала (рис.1.). При этом сочетаются прочностные свойства обоих компонентов. Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы, их соотношения, ориентации наполнителя, можно получить материал с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических характеристик (Рис. 2).

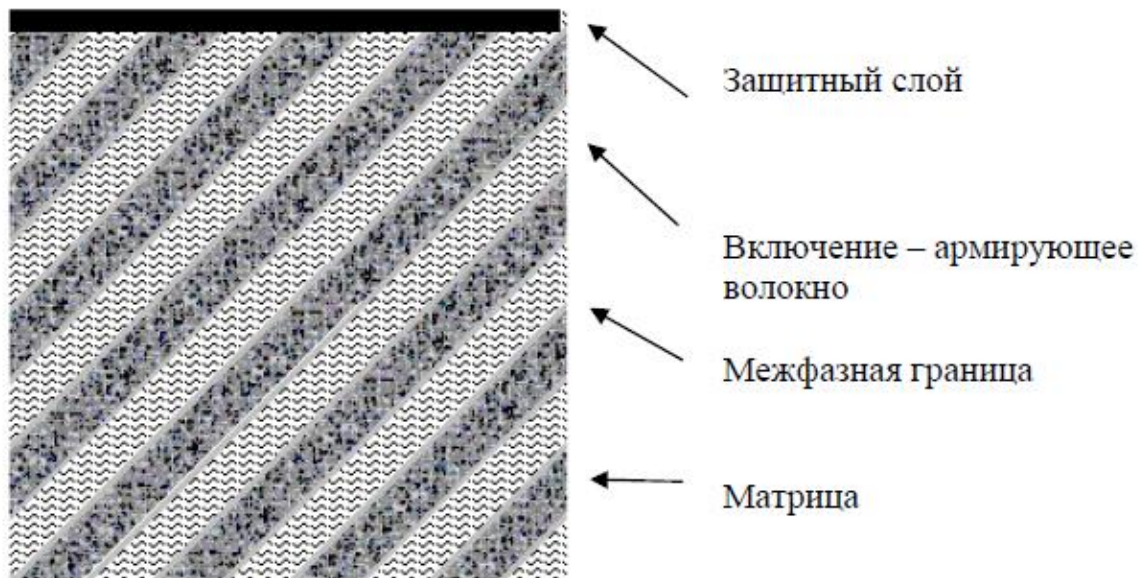


Рис. 2. Основные компоненты композиционных материалов

Матрица - компонент, обладающий непрерывностью по всему объему КМ.

Включение – это разделенный в объеме компонент, который может быть усиливающим или армирующим.

Межфазная граница – это граница раздела между матрицей и включением, имеющая свойства отличные от свойств матрицы и включения.

Применение композиционных материалов

Области применения КМ многочисленны:

1. кроме авиационно-космической, ракетной и др. специальных отраслей техники они могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной промышленности – для корпусов и деталей машин;
2. в горнорудной промышленности – для бурового инструмента, буровых машин и др.;
3. в металлургической промышленности – в качестве огнеупорных материалов для футеровки печей, кожухов и др., арматуры печей, наконечников термодпар;
4. в строительстве – для пролетов мостов, опор мостовых ферм, панелей для высотных сборных сооружений и др.;
5. в химической промышленности – для автоклавов, цистерн, аппаратов сернокислотного производства, емкостей для хранения и перевозки нефтепродуктов и др.;
6. в текстильной промышленности – для деталей прядильных машин, ткацких станков и др.;
7. в сельскохозяйственном машиностроении – для режущих частей плугов, дисковых косилок, деталей тракторов и др.;

8. в бытовой технике – для деталей стиральных машин, лезвий бритв, рам гоночных велосипедов, деталей радиоаппаратуры и др.

Применение КМ в ряде случаев потребует создания новых методов изготовления деталей и изменения принципов конструирования деталей и узлов конструкций.

Целью создания КМ является объединение схожих или разнородных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами и характеристиками. С появлением такого рода материалов возникает возможность селективного выбора свойств композитов, необходимых для нужд каждой конкретной области применения.

В какой бы области науки и техники ни появлялась необходимость создания материалов с комплексом новых свойств, которые ни один гомогенный материал не может обеспечить, такими материалами становятся композиты.

Современная авиация, ракетно-космическая техника, судостроение, машиностроение не мыслимы без полимерных композитов. Чем больше развиваются эти отрасли техники, тем больше в них используют композиты, тем выше становится качество этих материалов. Многие из них легче и прочнее лучших металлических (алюминиевых и титановых) сплавов, и их применение позволяет снизить вес изделия (самолета, ракеты, космического корабля) и, соответственно, сократить расход топлива.

Применение КМ позволяет уменьшить финансовые затраты при снижении массы конструкции на 1 кг. В результате, сейчас в скоростной авиации используют от 7 до 25% (по весу) полимерных композитов и снижают вес изделия таким образом от 5 до 30%. В качестве рекламы этих материалов в США был изготовлен самолет “Вояджер”, практически полностью изготовленный из армированных пластиков (главным образом, углепластика, материала на основе углеродных волокон). Этот самолет облетел вокруг Земли без посадки. Важно и то, что в отходы при изготовлении деталей из полимерных композитов идет не более 10÷30% материала, в то время как у аналогичных деталей из высокопрочных сплавов алюминия и титана, применяемых в авиации, отходы могут в 4÷12 раз превышать массу изделия.

Опыт применения полимерных композитов показал, что максимального выигрыша от их применения можно добиться, лишь творчески подходя к проектированию самолета или другого изделия, учитывая особенности свойств армированных пластиков и технологии их изготовления. Простой пример. Металл — изотропный материал, свойства его одинаковы во всех направлениях, армированный пластик — анизотропный: например, прочность его вдоль волокон намного больше, чем поперек. Не для всякого изделия необходим изотропный материал. Так, в простой цилиндрической трубе при внутреннем давлении напряжения вдоль и поперек трубы отличаются приблизительно в 2 раза. Поэтому выгоднее по радиусу разместить больше волокон (там больше напряжение), чем вдоль трубы. Такая конструкция называется равнопрочной и позволяет экономить

материал . Кроме того, при изготовлении деталей из композитов требуются меньшие трудовые и энергетические затраты, уменьшается количество производственных циклов, можно вместо большого количества мелких деталей и последующего их соединения болтами или сваркой сделать сразу одну большую. Компоненты армированного пластика — это волокно и полимерная матрица. Основную механическую нагрузку несут волокна и они, главным образом, определяют прочность и жесткость (модуль упругости) материала.

Перспективы использования и применения композиционных материалов

Дальнейшее развитие КМ следует рассматривать как движение в двух направлениях. Первое — разработка дешевых компонент и методов их переработки в полуфабрикаты и изделия для гражданских целей широкого применения. Для этой цели в качестве матриц, по-видимому, будут использоваться многотоннажные полимеры (например, полипропилен и другие) и дешевые полиэфирные смолы. В качестве волокон — стеклянные, углеродные на основе пеков или полимер-пековых композиций, а также более дешевые полимерные волокна. Второе направление — повышение рекордных характеристик композитов. Такие материалы, хоть и в небольших масштабах, будут всегда требоваться для космической, авиационной и других гражданских отраслей техники . Можно надеяться, что в скором будущем будут достигнуты значения прочности порядка 10 ГПа для отдельных типов КМ.

На смену традиционным композитам приходят так называемые "нанокompозиты", то есть материалы, где размеры включений другого компонента имеют размеры, соизмеримые с размерами небольших агрегатов молекул. При таких размерах становится сложным определить понятие "раздел фаз". Такие материалы показывают исключительно высокие характеристики. Но с точки зрения развития системы, это, все таки, продолжение развития композитов.

Приведенные примеры композиционных материалов на различных матрицах свидетельствуют о возможности реализации в них чрезвычайно интересных сочетаний важнейших эксплуатационных характеристик — высокой прочности, включая диапазон высоких температур, жаростойкости, усталостной прочности и др. Уже сейчас на керамических матрицах рабочие температуры могут достигать 1600 °С, на металлических — до 1370°С. Увеличение рабочих температур в двигателях приводит к уменьшению их размеров, росту мощности и снижению стоимости эксплуатации. Вместе с тем, применение для армирования таких волокнистых материалов, как углеродное волокно, окисные волокна и усы, карбиды и другие материалы с низкой плотностью, позволяет реализовать в композитах значительное снижение массы деталей при сохранении ими неизменной прочности. Это предопределило тот факт, что наибольшие успехи в практическом

использовании КМ достигнуты в аэрокосмической технике (сопловые блоки ракет, носовые конуса), производстве газотурбинных двигателей (лопатки турбин), вертолетостроении. Уже сейчас КМ широко применяются в строительстве скоростных автомобилей, корпусов экстремальных яхт и гоночных судов, спортивного инвентаря и т.п. В настоящее время важнейшими факторами, сдерживающими применение большинства КМ, являются высокая стоимость армирующих волокон, в первую очередь нитевидных монокристаллов, а также серьезные проблемы технологического характера, затрудняющие высокую степень реализации прочности армирующих волокон в деталях из композиционных материалов.

Поэтому основные усилия исследователей и производителей направлены на разработку эффективных, технологичных и экономичных методов получения армирующих волокон, а также на совершенствование технологических процессов изготовления материалов и изделий. Успешное решение этих проблем позволит надеяться, что преимущества, связанные с использованием КМ, будут успешно реализованы в самом широком ассортименте изделий, с которыми нам приходится иметь дело постоянно.

Таким образом, создание, изучение и использование композиционных материалов — чрезвычайно перспективная и бурно развивающаяся область современного материаловедения.

Классификация композиционных материалов

Классифицируют КМ по следующим основным признакам:

- материалу матрицы и армирующих элементов,
- геометрии компонентов,
- структуре и расположению компонентов,
- методу получения.

Иногда КМ разделяют по назначению, но так как одни и те же КМ могут иметь различное назначение, то этот принцип классификации используется редко. Полная характеристика КМ должна содержать все указанные признаки, на практике же обычно ограничиваются одним или двумя из них.

Общее название КМ, как правило, происходит от материала матрицы. КМ с металлической матрицей называют металлическими КМ, с полимерной — ПКМ, с неорганической — неорганическими КМ. КМ, содержащий два и более различных по составу или природе матричных материала, называется полиматричным.

Характеристика КМ по материалу матрицы и армирующих элементов указывает на их природу. Название полимерных КМ состоит обычно из двух частей: в первой — указывается материал волокна, второй является слово «пластик» или «волоконит». Например, ПКМ, армированные СВ, называются стеклопластиковыми или стекловолоконными, металлическими — металлопластиковыми (металловолоконными), органическими — органо-пластиковыми (органоволоконными), борными — боропластиковыми (бороволоконными).

тами), УВ — углепластиковыми (углеволокнистыми), асбестовыми — асбопластиковыми (асбоволокнистыми) и т.д.

Для металлических и неорганических КМ пока нет четко установленной номенклатуры. Чаще других используется двойное обозначение: вначале пишется материал матрицы, затем — материал волокна. Например, обозначение медь — вольфрам (или Си — W) относится к КМ с медной матрицей и вольфрамовыми волокнами; окись алюминия — молибден (или $Al_2O_3—Mo$) — к КМ на основе Al_2O_3 с арматурой из молибденовых проволок. Составные компоненты заключаются в скобки. Однако в литературе встречаются и другие обозначения: сложное слово, в первой части которого указывается материал волокна, а во второй — матрицы (например, бороалюминий, углеалюминий и др.).

КМ, содержащие два или более различных по составу или природе типа армирующих элементов, называются полиармированными. Полиармированные КМ разделяются на простые, если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковую геометрию (например, стеклоуглепластик — полимер, армированный СВ и УВ), и комбинированные, если армирующие элементы имеют различные и природу, и геометрию (например, КМ, состоящий из алюминиевой матрицы, борных волокон и прослойки из титановой фольги).

Виды композиционных материалов и их классификация

По механизму упрочнения композиты можно разделить на две группы.

1. В основу упрочнения композитов первой группы положен принцип армирования матрицы высокопрочными, несущими нагрузку элементами (железобетон, стеклопластик и др.).
2. Ко второй группе относятся дисперсно-упрочненные материалы. Ведущую роль в них играет структурный фактор. Роль упрочняющей фазы сводится к облегчению формирования субструктуры в процессе получения композита.

Композит отличается от сплава тем, что в готовом композите отдельные компоненты сохраняют присущие им свойства. Компоненты должны взаимодействовать на границе раздела композита, проявляя только положительные новые свойства. Такой результат можно получать лишь в том случае, если в композиционном материале успешно объединены свойства компонентов, т.е. при эксплуатации композита должны проявляться только требуемые свойства компонентов, а их недостатки полностью или частично уничтожаться.

Например, если биметаллические полоски латуни-железо, используемые в термостатах, сварены друг с другом, то при нагреве такого композита за счет внутренних напряжений, возникающих из-за большого различия в коэффициентах линейного расширения, полоска изгибается.

Такую полосу, сделав ее элементом выключателя, можно применять для регулирования температуры.

Таким образом:

-получаемый композит приобретает новые, лучшие свойства и, следовательно, может выполнять дополнительные функции (многофункциональный материал);

-характеристики композита лучше, чем у его компонентов, взятых по отдельности или вместе без учета граничных процессов;

-действия отдельных компонентов композита всегда проявляются в их совокупности с учетом процессов, происходящих на границе раздела фаз.

По природе компонентов (обычно материала матрицы): металлические; полимерные; жидкокристаллические; керамические; другие неорганические материалы (углерод, оксиды, бориды и др.).

Если один из компонентов композита непрерывен во всем объеме, а другой является прерывистым, разьединенным, то первый компонент называют матрицей (связующим), а второй - арматурой (армирующим элементом, наполнителем). Матрица в композите обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжений в наполнителе, определяет тепло-, влаго-, огне- и химическую стойкость. Есть композиты, для которых понятие матрицы и арматуры неприменимо, например, для слоистых композитов, состоящих из чередующихся слоев, или для псевдосплавов, имеющих каркасное строение. Псевдосплавы получают пропиткой пористой заготовки более легкоплавкими компонентами, их структура представляет собой два взаимопроникающих непрерывных каркаса. Обычно композиты получают общее название по материалу матрицы.

По структуре композита: каркасная; матричная; слоистая; комбинированная.

К композитам с каркасной структурой относятся, например, псевдосплавы, полученные методом пропитки; с матричной структурой - дисперсно-упрочненные и волокнистые композиты; со слоистой структурой - композиты, составленные из чередующихся слоев фольги или листов материалов различной природы или состава; с комбинированной структурой - включающие комбинации первых трех групп (например, псевдосплавы, каркас которых упрочнен дисперсными включениями - каркасно-матричная структура и др.).

По геометрии армирующих компонентов (наполнителя): порошковые и гранулированные (армированы частицами); волокнистые (армированы волокнами, нитевидными кристаллами, делятся на непрерывные и дискретные); слоистые (армированы пленками, пластинами, слоистыми наполнителями).

По расположению компонентов (схеме армирования) (рис. 3): изотропные или квазиизотропные (порошковые, дисперсно-упрочненные, хаотично армированные дисперсными частицами, дискретными или непрерывными волокнами и др.); анизотропные (волокнистые, слоистые с определенной ориентацией армирующих элементов относительно матрицы).

Изотропные материалы имеют одинаковые свойства во всех направлениях, анизотропные - разные. К числу изотропных композитов вносятся псевдосплавы и хаотично армированные материалы. Упрочнение хаотично армированных композитов осуществляется короткими (дискретными) частицами игольчатой формы, ориентированными в пространстве случайным образом. В качестве таких частиц используют отрезки волокон или нитевидные кристаллы (усы), при этом композиты получают квазиизотропными, т.е. анизотропными в микрообъемах, но изотропными в макрообъеме всего изделия.

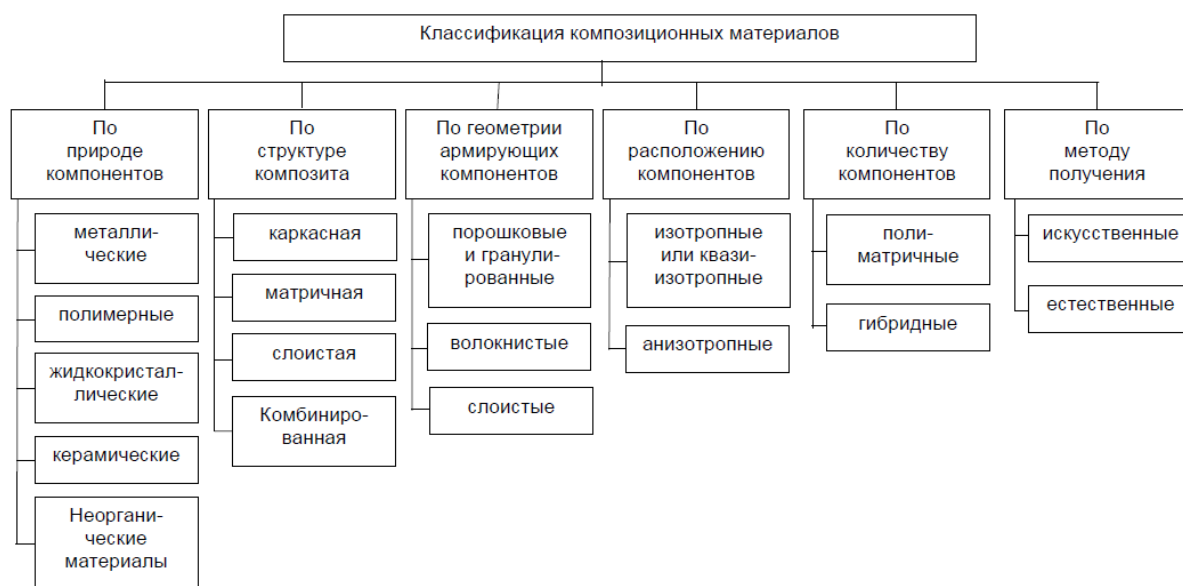


Рис. 3. Классификация композиционных материалов

Анизотропия композита является конструкционной, она закладывается специально для изготовления конструкций, в которых наиболее рационально ее использовать. Возможность управления свойствами вновь создаваемых материалов, особенно хорошо реализуемая при проектировании гибридных (армированных несколькими типами наполнителей) композитов, оказывает существенное влияние на совершенствование технологического проектирования. Например, композиты с матричной структурой, упрочненные армирующими элементами, ориентированными определенным образом в пространстве, относятся к упорядоченно армированным. Они подразделяются на одноосноармированные или однонаправленные (с расположением арматуры вдоль одной оси), двухосноармированные (с плоскостным расположением арматуры) и трехосноармированные (с объемным расположением арматуры).

Часто композит представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Однако каждый слой можно армировать также непрерывными

волокнами, сотканными в ткань определенного рисунка (средний ряд на рис. 4), которая представляет собой исходную форму, по ширине и длине соответствующую исходному материалу. Разработанные к настоящему времени геометрии армирования позволили отказаться от послойной сборки материала: волокна сплетают в трехмерные структуры (нижний ряд на рис. 4). В некоторых случаях уже на этой стадии можно задать форму изделию из композита. Выбор среди возможных типов армирования осуществляется на основе экономических соображений и требований, предъявляемых к работе изделий.

Традиционно выбор материала и проектирование компонентов конструкции были отдельными задачами. Когда композиты стали вытеснять металлы и сплавы из таких областей, как самолето-, судо- и автомобилестроение, промышленный дизайн и выбор материала соединились и стали просто различными аспектами одного процесса.

Контроль микроструктуры композита позволяет наилучшим образом учесть распределение нагрузок, которым будет подвергаться изделие. В то же время, в конструкции изделия отразятся и отличительные свойства композита: зависимость от ориентации и сложности формы, которую им можно придать в процессах формования - при прессовании, прокатке, намотке, армировании и др. Трудности, возникающие при одновременном конструировании изделия и его материала, предполагают, что промышленный дизайн будет все больше зависеть от совместных разработок специалистов разных областей, а также от компьютерного моделирования этих работ. Только такой подход обеспечит полное использование потенциальных возможностей композитов в технологиях будущего.

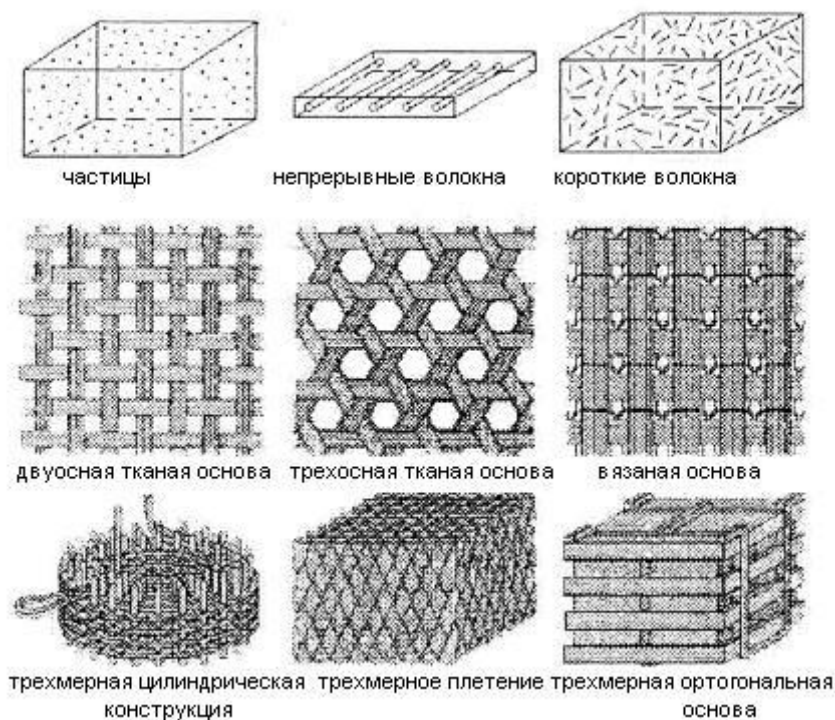


Рис. 4. Различные геометрии армирующих компонентов и схемы армирования композитов

Следует отметить, что наряду с конструкционной анизотропией композита существуют технологическая анизотропия, возникающая при пластической деформации изотропных материалов, и физическая анизотропия, присущая, например, кристаллам и связанная с особенностями строения кристаллической решетки.

По количеству компонентов: полиматричные - использование в материале нескольких матриц; гибридные (полиармированные) – использование наполнителей различной природы.

Композиты, которые содержат два или более различных по составу природе типа армирующих элементов, называются полиармированными или гибридными. Гибридные композиты могут быть простыми, если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковую геометрию (например, стеклоуглепластик - полимер, армированный стеклянными и углеродными волокнами), и комбинированными, если армирующие элементы имеют и различную природу, и различную геометрию (например, бороалюминий с прослойками из титановой фольги).

По методу получения: искусственные; естественные.

К искусственным относятся все композиты, полученные в результате искусственного введения армирующей фазы в матрицу, к естественным - сплавы эвтектического и близкого к ним состава. В эвтектических композитах армирующей фазой являются ориентированные волокнистые или пластинчатые кристаллы, образованные естественным путем в процессе направленной кристаллизации.

По мере создания новых композитов «старые» виды классификации расширяются и могут возникать новые.