

наименование

Исследование прочности дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе анализа конечно-элементных моделей

2018г.

2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Общие сведения о композиционных материалах	4
1.1 Классификации КМ	5
1.1.1 Классификация КМ по материалу матрицы (материаловедческий принцип).....	5
1.1.2 Классификация КМ по геометрии армирующих элементов	5
1.1.3 Классификация КМ по структуре и расположению компонентов	5
1.1.4 Классификация матричных КМ по схеме армирования (конструкционный принцип)	6
1.1.5 Классификация КМ по методам получения (технологический принцип).....	7
1.1.6 Классификация КМ по назначению (эксплуатационный принцип) ..	7
1.2 Наполнители КМ.....	8
1.3 Принципы создания полимерных композиционных материалов	9
2 Формирование перечня основных показателей качества полимерных композиционных материалов	11
2.1 Содержание наполнителя в ПКМ.....	11
2.2 Размер и форма дисперсных частиц в ПКМ.....	14
2.3 Межфазное взаимодействие (свойства МФС)	17
3 Сферы применения ПКМ	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	22

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие современной техники требует новых конструкционных материалов, превосходящих по своим свойствам традиционные. К числу наиболее перспективных относятся полимерные композиционные материалы (ПКМ) состоящие из полимерной матрицы (связующего) и упрочняющего наполнителя в виде волокон или порошкообразных веществ. В настоящее время полимеры и материалы на их основе серьезно потеснили основные конструкционные материалы, такие как железобетон, металл, дерево. Благодаря большому многообразию полимеров и наполнителей, а также неисчерпаемой вариативности составов композитов на их основе и методов их модификации, возможности полимерных материалов чрезвычайно широки, и они все чаще применяются, причем в тех случаях, когда ни один другой материал не отвечает все более возрастающим требованиям новой техники.

1 Общие сведения о композиционных материалах

Композиты – это материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующих элементов и скрепляющей их матрицы) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов. При этом предполагается, что компоненты, входящие в состав композита, должны быть хорошо совместимыми и не растворяться или иным способом поглощать друг друга.

В широком смысле композиционный материал – это любой материал с гетерогенной структурой, т. е. со структурой, состоящей минимум из двух фаз.

Для того чтобы выделить композиционные материалы (КМ) искусственного происхождения, подчеркнуть их характерные особенности наиболее полным считается определение, согласно которому: к композитам относятся материалы, обладающие рядом признаков:

1 состав, форма и распределение компонентов материала «запроектированы заранее»;

2 материал не встречается в природе, а создан человеком;

3 материал состоит из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу и разделенных выраженной границей;

4 свойства материала определяются каждым из его компонентов, которые должны присутствовать в материале в достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания);

5 материал обладает такими свойствами, которых не имеют его компоненты, взятые в отдельности;

6 материал неоднороден в микромасштабе и однороден в макромасштабе.

1.1 Классификации КМ

1.1.1 Классификация КМ по материалу матрицы (материаловедческий принцип)

Наиболее важным признаков классификации КМ является материал матрицы. КМ с металлической матрицей называют металлическими композиционными материалами (МКМ). с полимерной матрицей – полимерными композиционными материалами (ПКМ), с керамической – керамическими композиционными материалами (ККМ). КМ, содержащие два и более различных по составу матричных материала, называют полиматричными.

1.1.2 Классификация КМ по геометрии армирующих элементов

Классификация в соответствии с геометрией армирующих элементов (порошки или гранулы, волокна, пластины) приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация композиционных материалов по геометрии

Армирующие элементы	Композиционные материалы
Порошки	Порошковые – дисперсно-упрочненные КМ
Волокна	Волокнистые – КМ, армированные непрерывными и дискретными волокнами
Пластины	Пластинчатые – слоистые КМ, состоящие из чередующихся непрерывных и дискретных пластин

1.1.3 Классификация КМ по структуре и расположению компонентов

В соответствии с этой классификацией КМ делятся на группы с матричной, слоистой, каркасной и комбинированной структурой.

Матричную структуру имеют дисперсно-упрочненные и армированные композиционные материалы.

К материалам со слоистой структурой относятся композиции, полученные из набора чередующихся слоев фольги или листов материалов различной природы и состава.

К композиционным материалам с каркасной структурой относятся материалы, полученные методом пропитки.

Комбинированную структуру имеют материалы, содержащие комбинации первых трех групп.

1.1.4 Классификация матричных КМ по схеме армирования (конструкционный принцип)

По ориентации и типу арматуры все КМ можно разделить на две группы – изотропные и анизотропные.

Изотропными называют материалы, которые имеют одинаковые свойства во всех направлениях.

Свойства анизотропных материалов зависят от направления в исследуемом объекте.

КМ с матричной структурой делятся на хаотично-армированные и упорядоченно-армированные (рисунок 1).

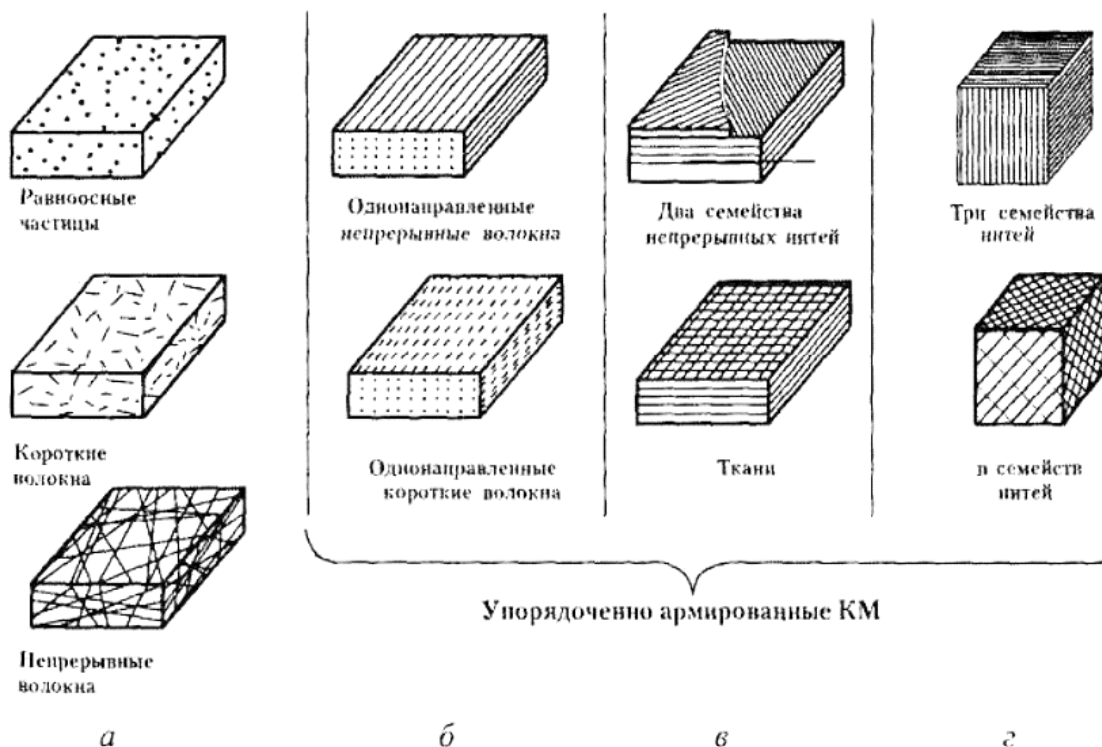


Рисунок 1 – Классификация конструкционных материалов по конструкционному признаку (а – хаотично армированные, б-г – одномерно- и пространственно армированные)

Хаотично-армированные КМ содержат армирующие элементы в виде дисперсных включений, дискретных или непрерывных волокон. Эти материалы являются изотропными или квазиизотропными.

Термин «квазиизотропный» означает, что КМ является анизотропным в микрообъеме, но изотропным в объеме всего изделия.

Упорядоченно-армированные КМ подразделяются на однонаправленные, т. е. одноосно-армированные, двухосно-армированные (с плоскостным расположением арматуры) и трёхосно-армированные (с объемным расположением арматуры).

1.1.5 Классификация КМ по методам получения (технологический принцип)

В соответствии с этой классификацией КМ делятся на материалы, полученные жидкофазными и твердофазными методами, а также методами осаждения (напыления, комбинированными методами).

К жидкофазным методам относятся пропитка (пропитка арматуры полимерами или расплавленными металлами) и направленная кристаллизация сплавов.

К твердофазным методам получения КМ относятся прокатка, экструзия, ковка, штамповка, уплотнение взрывом, диффузионная сварка, волочение и др. Композиционные материалы, получаемые твердофазными методами, используются в виде порошка или тонких листов.

При получении КМ методами осаждения (напыления) матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т. п.

Комбинированные методы заключаются в последовательном или параллельном применении нескольких методов.

1.1.6 Классификация КМ по назначению (эксплуатационный принцип)

Классификация КМ по назначению достаточно условна, поскольку часто композиты являются многофункциональными материалами. Тем не менее, среди множества КМ выделяют материалы общеконструкционного

назначения (несущие конструкции судов, самолетов, автомобилей и др.). жаропрочные материалы (лопатки турбин самолетов, камеры сгорания), термостойкие материалы (изделия, работающие в условиях частых теплосмен). фрикционные материалы (тормозные колодки), антифрикционные материалы (подшипники скольжения), ударопрочные материалы (броня самолетов, танков), теплозащитные материалы, материалы со специальными свойствами (магнитными, электрическими) и др.

1.2 Наполнители КМ

Наполнители полимеров – твердые, жидкие и газообразные органические и неорганические вещества, которые распределяются в непрерывной фазе полимера (матрице) с образованием гетерофазной системы с выраженной границей раздела фаз.

Наполнители вводят в полимеры с целью создания новых полимерных материалов с комплексом ценных эксплуатационных свойств; улучшения технологических свойств и перерабатываемости наполненных полимеров; удешевления материалов; утилизации отходов и решения экологических задач; получения декоративных эффектов. Основные виды наполнителей: дисперсные (мел, асбест, гидроксид алюминия, тальк и др). волокнистые (металлические, стеклянные, углеродные, борные, органические, керамические, нитевидные кристаллы – усы), листовые (ткани, бумага, древесный шпон, ленты, холсты, сетки, нетканые материалы), объемные (объемные ткани, каркасные системы) и наполненных полимерных материалов представлены на рисунке 2.

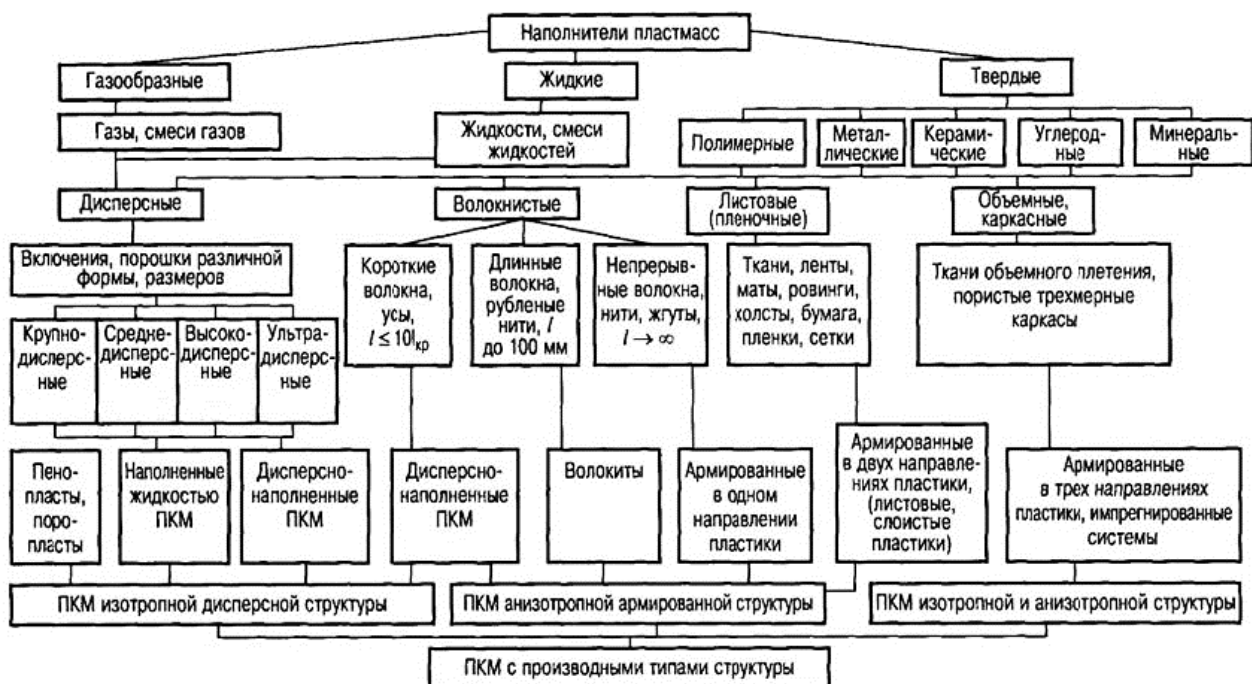


Рисунок 2 – Основные виды наполнителей и наполненных полимерных материалов

1.3 Принципы создания полимерных композиционных материалов

При создании новых материалов главной задачей является улучшение комплекса физико-механических свойств. При этом основной показатель свойств – сопротивление материала разрушению. Самое высокое значение прочности характерно для систем с идеальной или близкой к идеальной структурой, а реальное значение прочности намного ниже. Не имея возможности реализовать на практике прочность идеальных структур, ученые с давних пор идут по пути улучшения свойств реальных, доступных материалов. Во многих случаях наряду с повышением прочности при создании композитов ставят задачу повышения модуля упругости, характеризующего жесткость материала, повышения теплостойкости, стойкости к удару, химической, масло-, бензостойкости, улучшения перерабатываемости, внешнего вида или размерной стабильности изделий и т.д.

В ряде случаев ПКМ создают с целью расширения ассортимента доступных материалов или расширения сырьевой базы.

Все более важной становится роль ПКМ при переработке промышленных и бытовых отходов пластмасс. Переработка вторичного полимерного сырья в новые изделия будет развиваться в основном путем создания ПКМ.

Создание ПКМ в последние годы рассматривается как основной путь получения новых материалов с улучшенными свойствами.

2 Формирование перечня основных показателей качества полимерных композиционных материалов

Рассмотрим влияние фазовой структуры полимерного композиционного материала на его свойства.

Три основных параметра определяют фазовую структуру композитов с дисперсными наполнителями: содержание наполнителя в ГЖМ; размер и форма частиц наполнителя; межфазное взаимодействие (свойства МФС).

2.1 Содержание наполнителя в ПКМ

Рассмотрим в общем виде изменение трех основных показателей свойств: модуля упругости, вязкости и прочности ПКМ.

Модуль упругости ПКМ

При введении деформируемого наполнителя в деформируемую матрицу получается ПКМ типа смеси полимеров, в которой каждый полимер способен к заметной деформации. Изменение относительного модуля упругости ПКМ при различном содержании наполнителя показано на рисунке 3, кривая 1. При ϕ равном 100 % модуль ПКМ равен модулю второго полимера (дисперсного наполнителя). При малом значении ϕ модуль ПКМ определяется свойствами первого полимера (матрицы) и умеренно возрастает с ростом ϕ . При ϕ равном 20-30%, когда расстояния между частицами становятся меньше диаметра и увеличивается вероятность их непосредственного контакта, модуль композита начинает быстро возрастать.

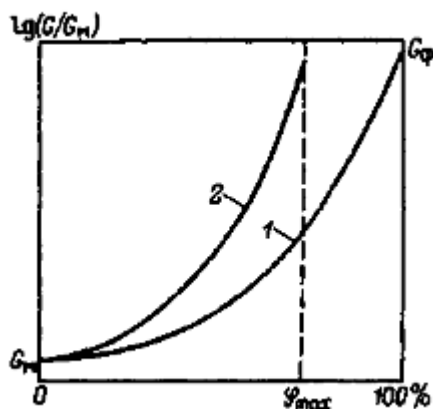


Рисунок 3 – Зависимость относительного модуля упругости G/G_m от содержания наполнителя ϕ .

На рисунке 3: 1 – расчетная кривая, не учитывающая предельной упаковки частиц, 2 – кривая с учетом наличия предельной (плотной) упаковки частиц ϕ_{\max} .

При смешении полимеров в интервале 30-70% происходит обращение фаз, и второй полимер образует вторую непрерывную фазу, а при ϕ более 70-80% структура полимера соответствует обращенной дисперсии: частицы первого полимера в матрице второго.

Прогнозировать значение модуля упругости смеси полимеров путем расчета можно лишь ориентировочно, наилучшее совпадение экспериментальных данных с расчетом наблюдается в интервале концентрацией наполнителя до 20 и выше 80 % (об.); расчеты малопригодны для средней области, где происходит обращение фаз.

Кривая 2 на рисунке 3 показывает рост модуля G с ростом содержания недеформируемых сферических частиц наполнителя в интервале от 0 до ϕ_{\max} . При ϕ_{\max} модуль системы стремится к величине модуля самого наполнителя.

Другой тип ПКМ – это твердая полимерная матрица с относительно мягким, податливым наполнителем. Таковы твердые полимеры, в которых диспергированы частицы эластомера (ударопрочные пластмассы) или пузырьки газа (пенопласта, поропласты). В этом случае модуль упругости композита падает с ростом содержания наполнителя.

Вязкость ПКМ зависит от содержания наполнителя часто аналогично модулю упругости. Если деформируемая матрица ПКМ наполнена твердыми частицами, то $G/G_M = \eta / \eta_M$. т. е. изменение вязкости можно рассчитывать по тем же формулам, что и изменение модуля.

Прочность ПКМ хуже, чем вязкость коррелирует с изменением модуля упругости при увеличении содержания полимерного или минерального наполнителя. Иногда корреляции полностью отсутствуют. Причина в том, что прочность определяется условиями разрастания микродефектов при разрушении, тогда как модуль – характеристика свойств неразрушенной структуры. Возникновение термоусадочных внутренних напряжений или концентрация напряжения на частицах наполнителя при деформировании оказывает существенное влияние на прочность и малое влияние на модуль.

При наличии достаточно прочной связи на границе раздела матрица-наполнитель, когда матрица не является хрупкой, предел текучести ПКМ увеличивается с ростом ϕ (рисунок 4, кривая 1).

При увеличении относительной степени наполнения до 0,2-0,3 перенапряженные области вокруг частиц начинают перекрываться, что облегчает разрастание трещин, и прочность резко снижается.

Прочность при сжатии, которая для твердых ненаполненных полимеров примерно в два раза больше прочности при растяжении, менее чувствительна к наличию микродефектов. Прочность при сжатии высоконаполненных термореактивных смол заметно уменьшается лишь при $\phi \rightarrow \phi_{\max}$, когда связующего недостаточно для заполнения пространства между частицами, и в ПКМ возрастает пористость.

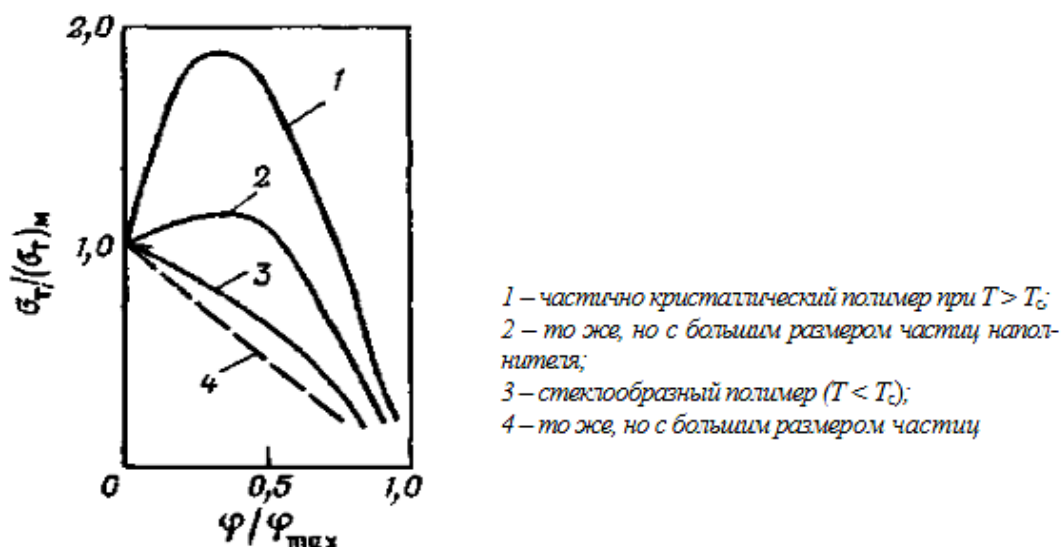


Рисунок 4 – Зависимость отношения пределов текучести ПКМ и матричного полимера от ϕ/ϕ_{\max}

Прочность при растяжении и сжатии снижается с уменьшением прочности связи на границе полимер-наполнитель и с увеличением размера частиц при постоянной ϕ .

2.2 Размер и форма дисперсных частиц в ПКМ

Размер частиц дисперсной фазы в ПКМ колеблется в широких пределах. Так, наиболее высокодисперсный наполнитель – аэросил (коллоидный кремнезем SiO_2) имеет размер частиц около 0.01 мкм, а наиболее крупный – такой, как органические полые микросферы. – 20-130 мкм.

Форма частиц изменяется от идеально сферической с гладкой (например, полые микросферы) или пористой (технический углерод) поверхностью до анизометричной (чешуйки слюды, волокна асбеста) или предельно анизометричной (армирующие непрерывные волокна).

С уменьшением размера частиц резко возрастает их общая удельная поверхность, резко растет число частиц при том же объемном содержании, а значит, уменьшается расстояние между частицами наполнителя в ПКМ и возрастает их способность к образованию агломератов.

Увеличение удельной поверхности наполнителя означает увеличение межфазной поверхности в ПКМ и даже при неизменной толщине МФС приводит к росту объема полимера, образующего МФС. т. е. увеличению доли модифицированного полимера-матрицы. В аэросиле удельная поверхность достигает $300 \text{ м}^2/\text{г.}$ и наполнитель обладает высокой адсорбционной способностью.

Расстояние между частицами наполнителя в ПКМ уменьшается с уменьшением размера частиц, поскольку растет число частиц в единице объема при данной степени наполнения (рисунок 5). причем отсутствует пропорциональная зависимость между размером частиц и расстоянием между ними.

При размере частиц менее 10 мкм происходит резкое уменьшение расстояния между частицами в определенном диапазоне ϕ . Чем меньше размер частиц, тем меньше ϕ . при котором достигается заданное значение a , например, равное диаметру частиц. Когда a достигает величины, при которой соприкасаются МФС соседних частиц, достигается наибольший усиливающий эффект.

Увеличение способности к агломерации с уменьшением размера частиц и затем рост размера агломератов являются следствием адсорбционной способности. Чем больше склонность к агломерации, тем меньше величина предельного заполнения объема ϕ_{max} , тем интенсивнее меняются свойства ГЖМ с ростом адсорбционной способности. Чем больше склонность к агломерации, тем меньше величина предельного заполнения объема ϕ_{max} , тем интенсивнее меняются свойства ПКМ с ростом ϕ (рисунок 3).

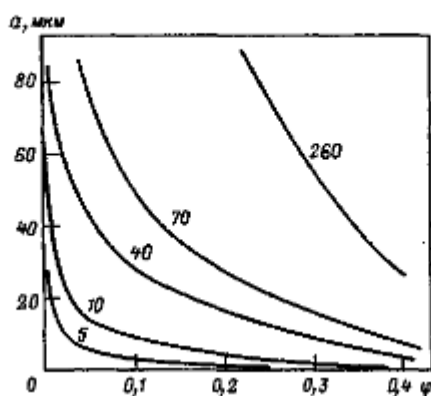


Рисунок 5 – Зависимость среднего расстояния между частицами от объемной доли наполнителя и от размера частиц (числа на кривых, мкм)

Существенной отрицательной особенностью при этом является нежелательное «загущение» расплавов полимеров. При введении наполнителя, склонного к агломерации, уже при малом его содержании резко возрастает вязкость расплава и ухудшается перерабатываемость вследствие роста энергозатрат, а также увеличение упругости расплава (разбухание экструдата на выходе из головки, тиксотропные эффекты, рост остаточных напряжений и т. п.).

При сильном уменьшении размера частиц существенно увеличивается доля граничного слоя в самой частице по сравнению с ее объемом. Граничный слой возникает под влиянием поверхностных сил или в процессе дробления минерала, полимера, керамики при получении дисперсного наполнителя. Это является следствием множественных микро-разрушений, накапливающихся в граничном слое. Частицы размером менее одного мкм, как правило, получают не в результате дробления (измельчения), а, наоборот, в результате синтеза (укрупнения) из газовой или жидкой фазы, или раствора в процессе фазового разделения и т. п. Типичный пример – технический углерод, частицы которого возникают в результате роста элементарных частиц, образующихся при конденсации паров углерода.

Таким образом, увеличивающаяся удельная поверхность частиц наполнителя влияет как на свойства матричного полимера, так и на свойства самих частиц.

2.3 Межфазное взаимодействие (свойства МФС)

Интенсивность межфазного взаимодействия играет важную роль в формировании свойств ПКМ.

Понятие «межфазный слой» впервые предложено Гиббсом, который считал его неоднородной «поверхностью разрыва» с конечной толщиной. В настоящее время межфазным слоем принято называть определенный объем полимера-матрицы, прилегающий непосредственно к границе раздела полимер-наполнитель и имеющий структуру и свойства, отличающиеся от таковых в объеме (рисунок 6).

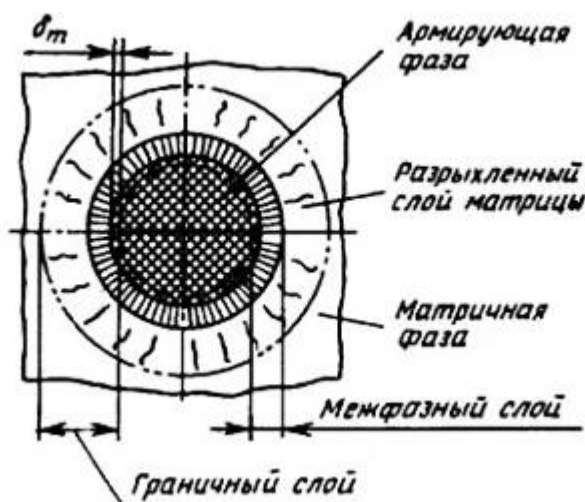


Рисунок 6 – Модель межфазного слоя в системе полимер-наполнитель

Межфазный слой, как правило, существенно отличается от матричной фазы по составу, поскольку он вбирает в себя аппрет, замасливатель и другие низкомолекулярные включения связующего и поверхности наполнителей (армирующих волокон).

Аппрет – это обычное органическое соединение с одним типом функциональных групп, способных реагировать с полимерной матрицей в

процессе ее отверждения, и другим типом групп, способных реагировать с активными группами на поверхности наполнителя.

Граница раздела фаз очень часто является наиболее слабым местом материала, и именно здесь начинается разрушение, как при механических нагрузках, так и при других воздействиях, например, под влиянием внешней атмосферы, воды и прочих.

Граница раздела фаз определяет интенсивность взаимодействия полимер-наполнитель посредством двух структурных параметров: прямого адгезионного взаимодействия контактирующих фаз и модификации структуры матричного полимера в области контакта.

Очевидно, что структура и свойства МФС для данного ПКМ целиком определяются величиной адгезионного взаимодействия, но в то же время изменение структуры и свойств полимера в объеме МФС изменяет адгезионное взаимодействие на поверхности контакта.

Сложная структура МФС с наличием в ней дефектов приводит к тому, что при разрушении ПКМ трещина, как правило, проходит не точно по границе раздела фаз, а по МФС или по матрице вблизи частицы. Лишь при очень слабом адгезионном взаимодействии происходит отслоение матрицы от частицы точно по границе контакта. Отклонение пути трещины от геометрической границы особенно характерно для пористых наполнителей или наполнителей с шероховатой поверхностью.

Интенсивность межфазного взаимодействия зависит от времени контакта фаз: через определенное время контакта сопротивление отслаиванию достигает предельного значения. Следующие процессы сопровождают рост усилия расслаивания.

Затекание. Полимерная матрица под прижимающим усилием деформируется, развиваются реологические процессы переноса полимера в углубления и поры на поверхности наполнителя, что приводит к росту фактической площади контакта полимера с наполнителем и способствует установлению адгезионного взаимодействия (смачивания).

Адсорбция. Это процесс, сопровождающийся изменением надмолекулярной структуры прилегающего слоя матрицы, а также адсорбцией (накоплением на поверхности раздела) низкомолекулярных фракций полимера, примесей или специально вводимых добавок типа отвердителей, стабилизаторов и т. п. Все это приводит к формированию МФС.

Взаимодиффузия. Наиболее характерна для смесей полимеров, когда происходит взаиморастворение сегментов несовместимых полимеров и образуется стой сегментальной совместимости как часть МФС. Происходит также частичная взаимодиффузия макромолекул, так как даже несовместимые полимеры частично взаиморастворимы.

Релаксация. Этот процесс приводит к снижению локальных перенапряжений вблизи поверхности раздела и к ограниченной ползучести. Обычно перенапряжения вокруг частицы (в том числе термоусадочные) не релаксируют полностью, тем не менее, процессы релаксации проходят в достаточной степени, приводя к росту сопротивления отслаиванию.

Для увеличения межфазного взаимодействия в ПКМ вводят специальные добавки – аппреты (для систем полимер-минеральный наполнитель) и совмещающие добавки, или компатибилизаторы (для смесей полимеров).

Систематические исследования границы раздела фаз в композиционных материалах начались в США с 1963 г., однако полной ясности нет до сих пор, хотя работ по этому вопросу появилось довольно много.

Известно, что большинство волокнистых и упрочняющих дисперсных наполнителей подвергаются перед их непосредственным использованием поверхностной обработке. Наиболее распространенной обработкой является нанесение аппретов на поверхность наполнителя для создания переходного слоя между ним и полимерной матрицей.

Наиболее распространены стантовые аппреты типа RSiX_3 . Органический радикал R обеспечивает взаимодействие с полимерной матрицей, а SiX_3 образует связи с группами $-\text{OSi}-$ поверхности наполнителя. Применяют также

алкоксититанаты и фосфатотитанаты, играющие ту же роль агента сочетания двух разнородных фаз, и другие вещества для увеличения, а иногда и для некоторого снижения прочности связи фаз, в зависимости от химической природы компонентов ПКМ.

Регулирование прочности связи полимер-полимер в ПКМ типа смесей и сплавов полимеров достигается введением на границу раздела блок-сополимеров (совмещающих добавок), у которых каждый блок макромолекулы совместим с одним из компонентов ПКМ. Таким образом, блок-сополимер, каждый блок которого находится в одной из контактирующих фаз, обеспечивает хорошее межфазное взаимодействие.

Увеличение межфазного взаимодействия происходит и за счет химической реакции, например, при нагревании, между компонентами ПКМ, если в них имеются реакционноспособные функциональные группы.

Даже небольшое количество аппрета, около 0.1-0.5%, нанесенное на поверхность наполнителя, резко улучшает технологические свойства материалов. Многие аппреты, например, кремнийорганические, эффективны практически для всех связующих стеклопластиков, тем не менее, следует учитывать, что степень улучшения свойств сильно меняется в зависимости от типа связующего.

3 Сферы применения ПМК

Композиты эффективно конкурируют с такими конструкционными материалами, как алюминий, титан, сталь. К отраслям, активно использующим композиционные материалы, относятся авиация, космонавтика, наземный транспорт, химическое машиностроение, медицина, спорт, туризм, образование. Композиты используются для производства автомобилей, объектов железнодорожного транспорта, самолетов, ракет, судов, яхт, подводных лодок, емкостей для хранения различного рода жидкостей, трубопроводов, стволов артиллерийских орудий. Материалы, разработка которых первоначально осуществлялась по заказам военных ведомств, в первую очередь для применения в летательных аппаратах, внедрены во многих отраслях гражданской промышленности.

Как правило, стоимость композиционных материалов очень высока, что связано со сложностью технологических процессов, высокой ценой используемых компонентов. Однако следует отметить возможность экономии за счет уменьшения количества технологических разъемов, уменьшения количества деталей, сокращения числа сборочных операций при производстве сложных конструкций. Трудоемкость производства изделий из композиционных материалов можно снизить в 1,5-2 раза по сравнению с металлическими аналогами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная наука позволяет конструировать на их основе полимеров с использованием различных ингредиентов композиционные материалы с заданными свойствами, имеющих улучшенные физико-механические свойства.

Одним из видов полимерных композиционных материалов являются армированные полимерные композиты, обладающие уникальными физико-механическими свойствами, благодаря которым они широко используются в различных областях техники, строительстве, на транспорте и других отраслях экономики. Высокие прочностные свойства, долговечность, технологичность и широкий ассортимент позволяют выбрать материал практически для любых областей, удовлетворяющий современным техническим требованиям. Объемы потребления армированных пластиков постоянно растут в связи с расширением областей их применения и разработкой новых сырьевых материалов – связующих и армирующих волокнистых наполнителей. Конструирование и исследование таких материалов во всем мире является приоритетной задачей науки.

При разработке композиционных материалов основной задачей является создание оптимальной структуры, которая соответствует условиям эксплуатации изделия из него. Это достигается путем выбора компонентов композита, их соотношения, способа получения композита и изделия из него. С помощью этого регулируются упруго-прочностные свойства, тепло- и электротехнические и другие характеристики не только материала, но и готового изделия с учетом его конструкции и условий эксплуатации. Современные достижения материаловедения, информационных технологий, наличие объемных баз данных позволяют автоматизировать проектирование полимерных композитов.