

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ
КОМПОЗИТЫ**

методические указания для студентов очного обучения

направелния 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
профиль: Конструирование и производство изделий из композиционных материалов
(ПКМ)

Пермь – 2017

УДК 539.3+620.17.05] (0,75.8)

Составитель: канд. техн. наук, доцент кафедры МКМК Бабушкин Андрей Викторович

В методических указаниях изложено содержание дисциплины «Конструкционные и функциональные волокнистые композиты», приведены варианты контрольных работ и указания к их выполнению, описаны теоретические основы и практическая часть лабораторных работ.

Указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению бакалавриата 28.03.03 Наноматериалы профиль: Конструкционные наноматериалы (КНМ).

Введение

Представлена часть учебно-методического комплекса дисциплины «Конструкционные и функциональные волокнистые композиты» – методические указания для студентов по дисциплине «Конструкционные и функциональные волокнистые композиты».

Одним из видов изучения дисциплины является самостоятельная работа по программе курса с использованием учебников, учебных пособий, конспектов лекций.

Самостоятельная работа организуется в соответствии с использованными в учебном процессе формами учебных занятий. При выполнении самостоятельной работы студент готовит себя к успешному выполнению контрольно-измерительных мероприятий по курсу и что самое важное повышает эффективность получения профессиональных знаний необходимых в будущей работе по специальности.

При выполнении этой работы студент закрепляет и дополнительно прорабатывает теоретический материал лекционных занятий, готовится к выполнению и защите лабораторных работ, показывает умение пользоваться полученными решениями.

Самостоятельной работой рекомендуется заниматься системно. Изучаемый материал конспектировать, обдумывать использовать на практике получаемые значения, навыки и умения. При возникновении трудностей по тем или иным вопросам искать ответы путем обсуждения их с одногруппниками, обращения к преподавателю.

Методические указания по дисциплине «Конструкционные и функциональные волокнистые композиты» в части теоретического обучения содержит краткое изложение программы и контрольные вопросы. В части лабораторных занятий задания на выполнения этих работ и контрольные вопросы.

Основные понятия и определения. Теоретические сведения.

Глава 1

Введение

1.1 Цели и задачи курса

Технология - наука ремесла (греч). Наука о способах и методах переработки сырья в готовый продукт, широко использующая для осуществления совершенствования производственных процессов положения физики, химии, механики, теплотехники, кибернетики, экономики, организации и планировании производства.

Наука, изучающая способы и процессы получения и переработки продуктов природы в предметы потребления и средства производства.

ТКМ является комплексной инженерной дисциплиной, включающей основные положения физической химии, физики, и механики КМ, технологической механики.

Цель: усвоение принципов и методов технологии производства изделий из КМ на полимерной, углеродной и металлической матрице, понимание конструктивно-технологических особенностей этих материалов и правильный учет этих особенностей при проектировании изделий, эффективное применение КМ и технологий.

1.2 КМ: общая характеристика и состав

КМ - материалы, состоящие из двух или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих, и связующей их матрицы) и обладающие следующими признаками:

- не встречаются в природе, так как созданы человеком;
- состоят из 2х или более компонентов, различающихся по своему составу и разделенных выраженной границей (не должны растворяться или иными способами поглощать друг друга);
- имеют новые свойства, отличные от свойств составляющих их компонентов;
- неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе;
- состав, форма и распределение компонентов запроектированы заранее;
- свойства КМ определяются из взаимодействия компонентов.

Компонент - это заданное количество вещества (химических элементов) введенное в материал (металл) для изменения его свойств, от природы и количества которого будут зависеть свойства материала. Компоненты - чистые химические элементы или устойчивые химические соединения входящие в состав сплава или материала.

Фаза - это однородная часть системы, отделенная от других частей (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяются скачком.

Компонент КМ, непрерывный во всем объеме, называется матрицей (связующим). Компонент прерывистый, разьединенный в объеме композиции, называется наполнителем или армирующим компонентом. Понятие "армирующий" означает "введенный в материал с целью изменения свойств". Изменение свойств может происходить в ту или иную сторону, не обязательно это изменение приводит к упрочнению материала. КМ - материал неоднородный. Деление материалов на композиционные и некомпозиционные определяется объективной необходимостью применения тех или иных моделей.

КМ, которые содержат две или более различных по составу или природе матрицы, называются *полиматричными*. КМ, которые содержат два или более различных по составу или типу армирующих элементов, называются *полиармированными*.

В широком смысле понятие КМ включает в себя любой материал с гетерогенной структурой (состоящий из двух или более фаз (компонентов), для которого применение моделей и методов теории КМ необходимо и оправданно. Такое определение позволяет отнести к числу композиционных подавляющее большинство применяемых в технике материалов. Например, все металлические сплавы (сталь= $Fe+C$). Почти все металлические сплавы (стали) содержат несколько фаз (феррит и цементит), которые либо создаются намеренно, для придания материалу заданных эксплуатационных и технологических свойств, либо образуются в материале в результате наличия примесей. Более того, КМ часто встречаются в природе: дерево, кости животных, зубы людей. Наиболее яркими КМ можно назвать бетон, асфальт, железобетон, текстолит, цемент, стеклопластик.

Оказывается, КМ использовались в древности. Как наука ТКМ ещё не сформировалась. Понятие КМ существует всего 65 лет. Хотя композиты используются уже очень давно. Так, например, принципы армирования для упрочнения известны в технике с глубокой древности. Еще в Вавилоне использовали тростник для армирования глины при постройке жилищ, а в Древней Греции железными прутьями укрепляли мраморные колонны при постройке дворцов и храмов. В 1555—1560 годах при постройке храма Василия Блаженного в Москве русские зодчие Барма и Постник использовали армированные железными полосами каменные плиты. Пробразом КМ являются широко известный железобетон, представляющий собой сочетание бетона, работающего на

сжатие, и стальной арматуры, работающей на растяжение, а также полученные в 19 веке прокаткой слоистые материалы.

Уже в 1932 году были запатентованы текстолиты, а в 1935 году стеклопластики. В 1940—1950 продолжалась успешная разработка и применение конструкций волокнистых стеклопластиков, обладающих высокой удельной прочностью. Затем в 1950—1960 открыли весьма высокую прочность, приближающуюся к теоретической, нитевидных кристаллов и доказали возможность использования их для упрочнения металлических и неметаллических материалов. А с 1960 по 1970 года была зафиксирована разработка новых армирующих материалов — высокопрочных и высокомодульных непрерывных волокон бора, углерода, Al_2O_3 , SiC и волокон других неорганических тугоплавких соединений, а также упрочнителей на основе металлов.

1.3 Классификация КМ

КМ классифицируются по следующим признакам:

1. Материалы матрицы и армирующих компонентов;
2. Геометрия компонентов;
3. Методы получения или технология;
4. Назначение.

Общее название КМ как правило происходит от материала матрицы:

1. Материал называется полимерным КМ (ПКМ), если одна из фаз (один из компонентов) этого материала – полимер, а другие фазы (другие компоненты) твердые, жидкие или газообразные вещества;
2. Если матрицей является металл, то это металлокомпозит или МКМ;
3. Если связующим является углерод, то имеем УКМ, а армирующим компонентом (наполнителем) является углеродный волокнистый материал, то имеем С-С КМ, то есть УУКМ;
4. Если матрица состоит из керамического материала, то это керамический КМ или ККМ.

По виду армирующего наполнителя КМ делятся на:

1. КМ с дисперсными частицами (гранулированными, объемными);
2. КМ с поверхностными или плоскими армирующими частицами;
3. Волокнистые КМ.

Волокнистые КМ можно классифицировать в зависимости от степени дискретности или непрерывности волокон, а также от их ориентации:

1. Однонаправленные КМ с непрерывными волокнами (слоистые или "сэндвичевые" структуры);
2. КМ с дискретными волокнами;
3. КМ с непрерывными волокнами, ориентированными во многих направлениях (3D, 4D...);
4. КМ с хаотично расположенными дискретными или непрерывными волокнами.

В зависимости от взаимного расположения армирующих компонентов композиты бывают:

1. Макроизотропными;
2. Макроанизотропными.

Изотропные КМ обладают одинаковыми свойствами во всех направлениях, а анизотропные КМ имеют разные свойства в разных направлениях.

I. К макроскопически изотропным композитам (рисунок 1.1) относятся:

- дисперсно-упрочненные сплавы;
- псевдосплавы;
- хаотично-армированные КМ (квазиизотропия), (4D, 5D).

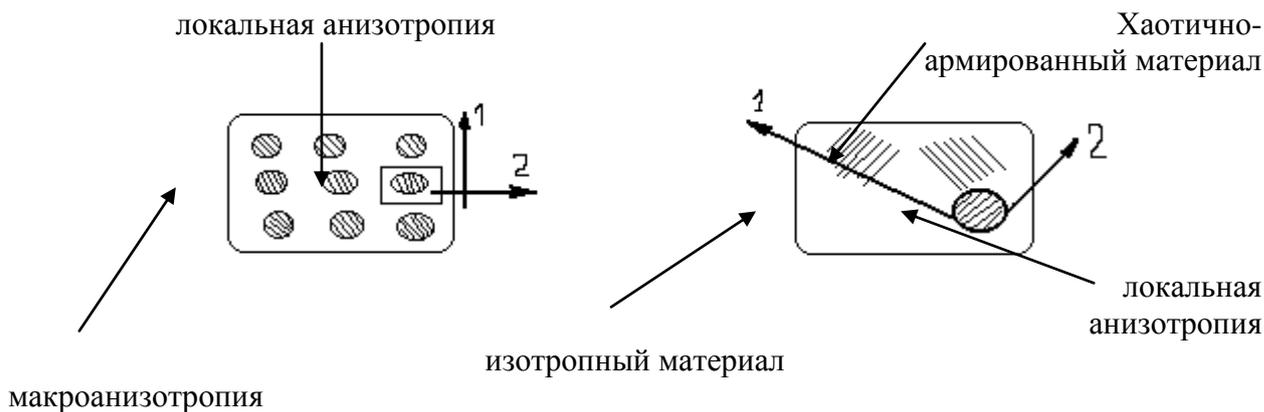


Рисунок 1.1 - Макроскопически изотропные КМ.

К анизотропным материалам относят материалы, в которых волокна ориентированы в определённом направлении (армированные с непрерывными волокнами (нитьями), слоистые).

II. Ортотропные (ортогонально-изотропные) КМ(рисунок 1.3) характеризуются наличием в каждом элементарном объеме представленного материала 3х взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии свойств (КМ, армированные последовательно чередующимися слоями волокон в двух взаимно перпендикулярных направлениях, тканями с продольно-поперечной укладкой и т.д).

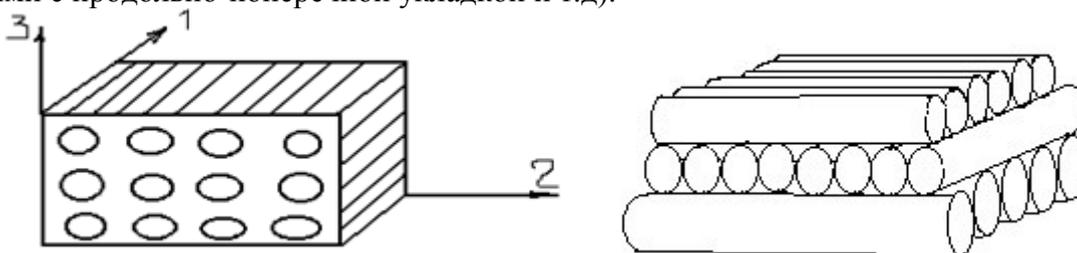


Рисунок 1.2 - Трансверсально-изотр. КМ. Рисунок 1.3 - Ортотропные КМ.

III. Трансверсально-изотропные КМ(рисунок 1.2) – это материалы, имеющие плоскость изотропии и перпендикулярную ей ось симметрии бесконечного порядка (однонаправленные КМ, слоистые КМ с так называемой "звездной" укладкой волокон, при условии, что угол м/у направлениями укладки волокон в смежных слоях меньше 72°).

В соответствии с классификацией формообразования КМ делятся на группы:

1. с каркасной;
2. с матричной;
3. со слоистой;
4. с комбинированной структурой.

В соответствии с классификацией по методам получения КМ разделяют на:

- a. твердофазные методы;
- b. жидкофазные методы;
- c. газофазные методы + методы осаждения, напыления;
- d. комбинированные методы.

К твердофазным методам относят:

- прессование;
- прокатка;
- ковка;
- штамповка;

- уплотнение взрывом;
- диффузионная сварка;
- волочение;
- экструзия (рисунок 1.4) и т.п.

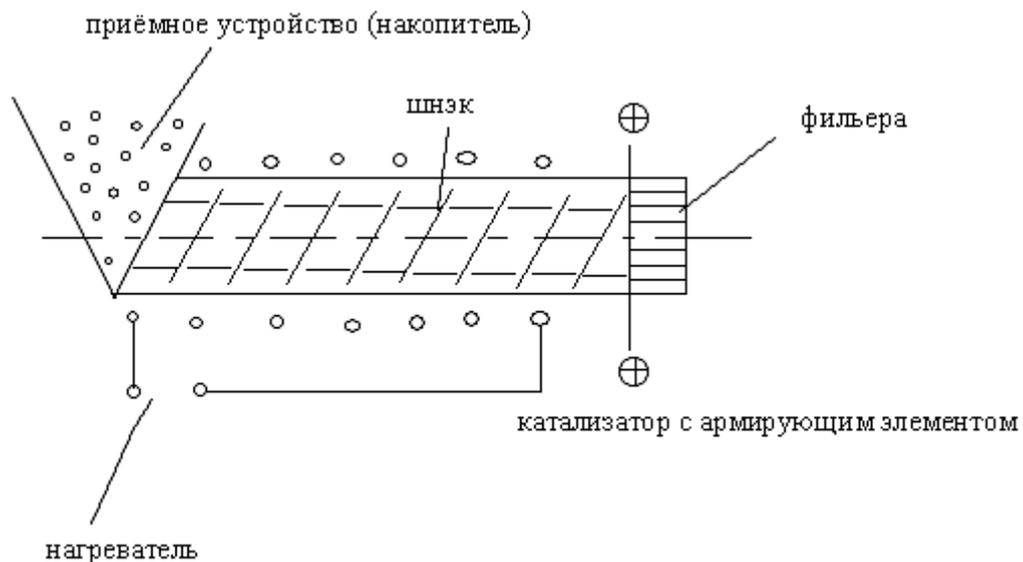


Рисунок 1.4 - Экструзия.

К жидкофазным методам относят:

1. пропитка;
2. направленная кристаллизация сплавов;
3. мокрая намотка;
4. экструзия (жидкая);
5. выплавка.

Газофазные методы (осаждения – напыления):

Матрица наносится на волокна из технологической среды растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и др.

К некоторым КМ понятие «матрица» и «арматура» не применимо. К таким материалам относятся слоистые КМ, состоящие из чередующихся слоёв двух металлических сплавов, или псевдосплавов, имеющих каркасное строение, которые, в основном, получают пропиткой пористой заготовки более легкоплавким компонентом. Их структура представляет собой 2 взаимопроникающих непрерывных каркаса.

1.4 Экономическая эффективность КМ

Области применения композиционных материалов не ограничены. Они применяются в авиации для высоконагруженных деталей самолетов и двигателей. А так же в космической технике, в автомобилестроении, в горной промышленности, в гражданском строительстве и в других областях народного хозяйства.

Применение композиционных материалов обеспечивает новый качественный скачок эксплуатационных характеристик выполняемых изделий в увеличении мощности двигателей, энергетических и транспортных установок, уменьшении массы машин и приборов.

Технология получения полуфабрикатов и изделий из композиционных материалов достаточно хорошо отработана.

Композиционные материалы с неметаллической матрицей, а именно полимерные карбоволокониты используют в судостроении и автомобилестроении; из них изготавливают подшипники, панели отопления, спортивный инвентарь, части ЭВМ. Высокомодульные карбоволокониты применяют для изготовления деталей авиационной техники, аппаратуры для химической промышленности, в рентгеновском оборудовании и другом.

Карбоволокониты с углеродной матрицей заменяют различные типы графитов. Они применяются для тепловой защиты, дисков авиационных тормозов, химически стойкой аппаратуры. Изделия из карбоволоконитов применяют в авиационной и космической технике. Органоволокониты применяют в качестве изоляционного и конструкционного материала в электропромышленности и радиопромышленности, авиационной технике, автостроении; из них изготавливают трубы, емкости для реактивов, покрытия корпусов судов и другое.

Пока КМ дороже обычных промышленных материалов. Это объясняется тем, что объем их производства не велик, а некоторые из них существуют только в виде лабораторных образцов. Однако в силу особенности КМ удовлетворять самым разнообразным потребностям спрос на КМ растет, а цена падает. Тем не менее сильно мешает производству начальная более высокая стоимость.

Стимулом для создания и внедрения КМ является:

1. Получение материала с особыми свойствами, отличными от свойств исходных материалов;
2. Возможность селективного выбора свойств компонентов, необходимых для каждой конкретной области применения;
3. Уменьшение затрат на обработку (прежде всего механическую) при изготовлении изделий;
4. Уменьшение массы изделия;
5. Коррозионная стойкость изделий.

Поскольку возрастают потребности народного хозяйства в композиционных материалах, возникает необходимость в увеличении выпуска продукции из композитов, повышении ее качества и снижении себестоимости. Эти задачи можно решить, применяя новые исходные компоненты, высокопроизводительное технологическое оборудование и оптимизируя технологические режимы производства изделий из композиционных материалов. При этом существенное значение имеет комплексная автоматизация производства на базе современных средств вычислительной техники, позволяющая осуществлять оптимальное управление технологическими процессами производства изделий из композиционных материалов и улучшать его технико-экономические показатели.

По объему применимости КМ можно распределить в следующем порядке:

1. а) Реактопласты;
б) Термопласты;
2. Металлокомпозиты;
3. Углерод-углерод КМ (УУКМ).

1.5 Общая характеристика компонентов КМ

Армирующий наполнитель КМ как правило несет силовую нагрузку. В КМ выигрыш в функциональных (конструкционных) показателях связан с высокой прочностью наполнителя, например, борных или углеродных волокон, и с его высокой жесткостью.

Матрица КМ служит для распределения деформаций и напряжений между волокнами, или частицами армирующих наполнителей, для придания композиту упругих свойств и формы изделий.

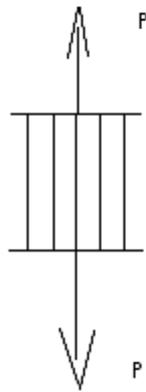


Рисунок 1.5 - Однонаправленный КМ.



Рисунок 1.6 - Перекрёстноармированный КМ.



Рисунок 1.7 - График зависимости ϵ - σ .

Наполнителями в КМ могут служить:

1. твердые тонкодисперсные, зернистые или пластинчатые частицы, полые сферы;
2. поверхностные (слои);
3. волокнистые материалы (нити, ровинги, жгуты, ленты, ткани, а также нитевидные кристаллы или усы).

В конструктивных КМ применяют преимущественно волокнистые армирующие наполнители, при этом "прочность" композиции определяется двумя основными факторами:

1. регулярностью распределения волокон в объеме матрицы(рисунок 1.8).

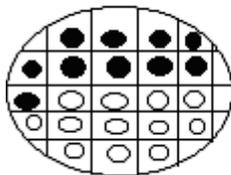


Рисунок 1.8 - Регулярно распредел. волокна в объеме матрицы.

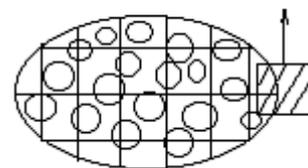


Рисунок 1.9 - Нерегулярно распредел. волокна в объеме матрицы.

2. взаимодействием между волокном и матрицей (межфазное взаимодействие):

1. механические взаимодействия;
2. физическое взаимодействие (адгезия);
3. химические взаимодействия.

Характеристики матричных материалов определяют механические свойства КМ при сдвиге и нагружении их напряжениями нормальными к направлению армирования, а также термоустойчивость, химическую стойкость композита (хемостойкость) и технологические режимы получения изделий.

Поскольку большую часть технологических методов занимает пропитка, то для пропитки очень важными параметрами являются: вязкость и величина молекулы. Роль матрицы заключается также в придании формы изделию. Кроме основных компонентов - арматуры и связующего - в состав КМ могут входить различные катализаторы, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, красители и т.п.

Требования, предъявляемые к компонентам КМ

Армирующие наполнители должны обладать:

1. небольшой плотностью. Чем выше единица объема вещества, тем прочнее и плотнее материал. Как правило, проводят армирование (рисунок 1.10), чтобы снизить вес изделия, а, следовательно, уменьшить плотность вещества.

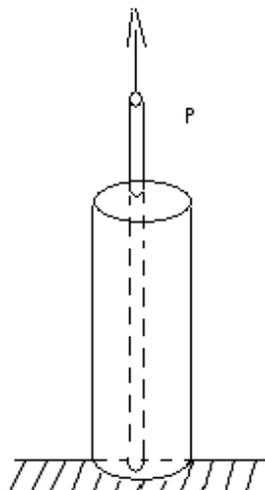


Рис. 1.10 - Процесс армирования.

2. высокой прочностью во всем интервале рабочих (- технологических, - эксплуатационных) температур;
3. технологичностью.
4. минимальной растворимостью в матричном материале. Растворение не должно быть глобальным.
5. высокой химической стойкостью, отсутствие фазовых превращений в эксплуатационном и технологическом интервале температур.

Матрица должна быть:

1. нетоксичной при изготовлении и эксплуатации;
2. воспринимать любые формы нагрузок и обеспечивать передачу усилий на волокна.
3. технологичной в переработке и изготовлении КМ (технологичной, то есть, чтобы была возможность обработки данного материала при данных технологических условиях).

1.6 Характеристика конструкционных КМ

Конструкционные КМ в изделиях несут значительную механическую или термомеханическую нагрузку. К конструкционным КМ относятся такие материалы, в которых:

1. частицы армирующего наполнителя имеют четко выраженную границу с матрицей;
2. армирующий наполнитель (как правило волокнистый) закономерно распределен в объеме матрицы;
3. прочность КМ максимальна, если волокна распределены в матрице не только регулярно, но и в строгом соответствии с тем, как распределены рабочие напряжения.

Важнейшими конструкционными свойствами являются:

1. Модули упругости;
2. Ударная прочность (вязкость);
3. Прочность при растяжении и изгибе;
4. Прочность при сжатии;
5. Твердость;
6. Теплостойкость;
7. Сопротивление ползучести;
8. Трещиностойкость;
9. Виброустойчивость и усталостная прочность;
10. Хемостойкость.

Теоретическая прочность (можно рассчитать по формуле 3.1) материала (вещества) возрастает с увеличением модуля упругости и поверхностной энергии вещества и с увеличением расстояния между компонентами (атомами).

$$\sigma \sim \sqrt{\frac{v \cdot E}{a_0}} \quad (3.1)$$

a_0 - расстояние между атомами решетки

σ - дополнительные силы взаимодействия частиц вещества.

Таким образом высокопрочные твердые вещества должны иметь высокий модуль упругости и поверхностную энергию и, возможно, большее число атомов в единице объёма.

Эти "вещества" могут состоять не только из атомов, но и из молекулы полимерных цепочек, и даже компонентов.

Этим требованиям удовлетворяют такие химические элементы, как Be, B, C, Si, Ti и другие. Наиболее прочные конструкции КМ всегда имеют в составе один из этих элементов, и даже полностью состоят из элементов этого ряда.

Данная тенденция характерна и для макрообъемов композитов, при этом стремление получить максимальную прочность композиции вызывает потребность повышения объемной доли упрочняющих волокон. Возможность объемного наполнения зависит от размера волокна и характера взаимодействия. Однако технологического контакта между волокнами происходить не должно.

Но если относительное удлинение матрицы мало, то в случае больших значений объемной доли волокна монолитность КМ может нарушаться даже при небольших нагрузках, что приводит к трещинам и расслоению. Предотвратить эти отрицательные явления при нагружении волокнистого композита заданного состава (рисунок 3.1) можно при условии, если толщина δ слоя матрицы (можно рассчитать по формуле 3.2) между

волокнами, их диаметр d_f и относительные удлинения при разрыве волокон ε_f и матрицы ε_m связаны соотношением:

$$\delta \geq \frac{d_f}{\left(\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_f} - 1\right)} \quad (3.2)$$

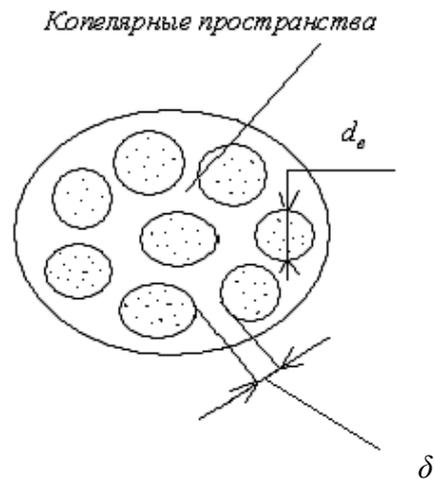


Рисунок 3.1 - Волокнистый материал заданного состава.

То есть чем податливее матрица, тем меньше допускается толщина прослойки матрицы между волокнами δ , и тем больше волокон может быть введено в единицу объёма КМ.

Глава 2

2 Основы производства волокон

2.1 Методы получения и свойства армирующих стекловолокон

В армированных волокнами КМ основную нагрузку воспринимают волокна. Вводят их в матричный материал в виде отрезков, непрерывных нитей (длина которых соответствует длине армированного изделия), либо в виде тканей различного плетения, войлока, матов. Дискретные волокна могут располагаться в матрице хаотично (рисунок 2.1) или ориентированно.

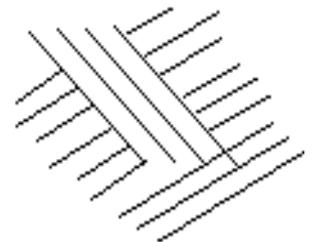


Рисунок 2.1 - Хаотичное
Прослойное
расположение.

Рисунок 2.2 - Упорядочивание
волокон.

Рисунок 2.3 -
формирование матов.

Непрерывные волокна (рисунок 2.3), в зависимости от требований к КМ, вводятся в матрицу, как правило, слоями (текстурные слои), в которых они могут быть ориентированны под разными углами. Также они могут быть представлены в виде матов или объемных структур (3D, 4D...).

По структурному признаку армирующие элементы можно разделить на волокна с:

1. монокристаллической (усы, иглы);
2. поликристаллической (металлы);
3. полимерной (органо-, стекловолокна);
4. аморфной структурой.

Кристаллическое стекло или кварц имеет абсолютно упорядоченную структуру (рисунок 2.2). Обычное же стекло не обладает упорядоченной кристаллической структурой, т.к. в нем содержится много примесей. Но структура разрушается не полностью, *остаются взаимосвязи, например, оксид кремния. Образуется много дырок, но сетка сохраняется, поэтому обычное стекло обладает хорошей прочностью.*

2.1.1 Состав стекла, применяемого при производстве стекловолокон

Стекло является аморфным материалом, занимающим по своим физико-механическим свойствам промежуточное положение между твердым телом и жидкостью (переохлажденная жидкость).

Если зафиксировать одно из состояний жидкости, можно увидеть, что в ней молекулы движутся хаотично, поэтому в различное время занимают различное неупорядоченное положение.

Промышленные марки стекла (таблица 2.1) являются аморфными, и кроме оксида кремния состоят из ещё более 30 примесей. Однако создание стекол основано на кремнеземной структуре, существующей в виде полимерных цепочек диоксида кремния (SiO_4).

Таблица 2.1 - Виды промышленно производимых стекол(для производства стекловолокон).

Состав, %	Марка стекла А	Марка стекла С	Марка стекла Е	Марка стекла S
Оксид кремния	72.0	64.6	54.3	64.2
Оксид кальция	10	13.2	17.2	0.01
Оксид алюминия	0.6	4.1	15.2	24.8
Оксид магния	2.5	3.3	4.7	10.27
Оксид железа	-	-	-	0.21
Оксид натрия	14.2	7.7	0.6	0.27
Оксид калия	-	1.7	-	-
Оксид бора	-	4.7	8.0	0.01
Оксид бария	-	0.9	-	0.2
Прочее	0.7	-	-	-

1. Марка А – высокощелочные стекла; 2. Марка С – химически стойкие стекла;
3. Марка Е - электроизоляционные стекла; 4. Марка S - для создания волокон с высокими прочностными характеристиками.

Кварц состоит на 99,99 % из SiO_2 , то есть имеет высокую чистоту и упорядоченность молекул (кристаллическая структура). Свойства у кварца на порядок выше, чем у стекла. Однако чистый диоксид кремния, то есть кварц, требует высоких температур для размягчения и вытягивания в волокнах. Поэтому необходима модификация состава стекла (кварца) для снижения уровня рабочих температур, при которых стекломасса обладает вязкостью, позволяющей проводить вытяжку волокон.

Технология производства стекла не допускает произвольных примесей. Например, песок должен быть определенного состава. В России всего 2 месторождения, где добывается такой песок.

Из таблицы 2.1 видно:

У марки А объёмная доля кремнезёма наибольшая. Марка А применяется для создания волокон, обладающих высокой хемостокостью. У стекла марки С хемостокость высокая относительно других стекол. Прочность у стекла марки Е больше, чем у стекол марок А,С, хотя кремнезёма в этих марках больше.

Также существуют специальные стекла:

1. марка М - высокомодульное стекло ($E=113\text{ГПа}$),
2. марка D – эти стекла обладают низкими диэлектрическими свойствами (применяются в электронике),
3. марка L – свинцовое стекло (радиационная защита).

2.1.2 Свойства стекловолокон

Свойства стекловолокон зависят от состава стекла и технологической предыстории.

Стекловолокна обладают следующими свойствами (таблица 2.2):

1. Высокая прочность при растяжении (удельная прочность стекловолокон выше, чем у стали);
2. Тепло и огнестойкость (стекловолокна не горят и имеют высокую температуру плавления, $t=700\text{ °C}$);
3. Хемостокость (химическая пассивность, а также устойчивость к воздействиям грибков, бактерий, насекомых и грызунов. В технологии производства волокон применяют поверхностное воздействие для обработки);
4. Влагостойкость (не набухают, не растягиваются от воды, не гниют);
5. Термические свойства (низкий коэффициент теплового расширения и коэффициент теплопроводности);
6. Электрические свойства (низкая диэлектрическая постоянная в большом диапазоне частот).

Таблица 2.2 - Основные физико-технические характеристики стекловолокон.

свойства		Марка стекла А	Марка стекла С	Марка стекла Е	Марка стекла S
Плотность, кг/м^3 при $T=22\text{ °C}$		2500	2490	2540	2460
Предел прочности, σ_B , МПа	$T=22\text{ °C}$	3033	3033	3448	4585
	$T=525\text{ °C}$	-	-	1724	2413
Модуль Юнга, ГПа при $T=525$		-	62.0	72.4	85.5
Коэффициент линейного термического расширения, К		8,6	7.2	5.0	5.6
Температура размягчения, °C		727	749	841	-
Коэффициент теплопроводности, Вт/мк		-	-	10.4	-
Диэлектрическая	60 Гц	-	-	5.9-6.4	5.0-5.4

постоянная(22°C)	1 МГц	6.9	7.0	6.3	5.1
------------------	-------	-----	-----	-----	-----

Коэффициент линейного термического расширения у металлов: у железа и олова равен соответственно 11 и 23. Из таблицы видно, что у стекла как минимум в 2 раза меньше КЛТР, чем у металлов, а значит и изменение объема под действием температуры меньше.

2.1.3 Высокосиликатные и кварцевые волокна

Имеют наиболее высокие удельные прочностные характеристики.

При этом кварцевое волокно характеризуется пределом прочности при растяжении приблизительно в 5 раз большим, чем прочность высокосиликатного волокна.

Таблица 2.3 – Физико-механические свойства высокосиликатов и кварца.

Свойства	Высокосиликатные волокна	Кварцевые волокна
Плотность, кг/м ³	1740	2200
Предел прочности, МПа при T=22°C	-	8960
Модуль Юнга, ГПа	-	68.9

Удлинение при разрушении составляет около 1%. Высокосиликаты состоят на 99.23% из SiO₂, при этом в качестве примесей могут быть В, Al. Кварц состоит на 99.995% из SiO₄, примесями здесь могут быть Mg, K, Al, Ti, но их на порядок меньше, чем в высокосиликатных стеклах.

Получение: стекловолокна с содержанием SiO₂ =65% подвергают обработке горячей кислотой, что приводит к удалению примесей, но не затрагивает силикатный субстрат. Это называется «выщелачивание».

Кварц это высокочистое стекло. Кварцевыми волокнами считаются те, что получены из естественных или искусственных кристаллов кварца. Кристаллы формируются в штабики, из которых вытягивают элементарные волокна, затем собирают вместе и обрабатывают замасливателем. Таким образом, получается высокопрочный волоконный ровинг, который может перерабатываться в пряжу или ткань.

Химические свойства кварца:

1. Кварцевые волокна не подвержены действию галогенов (хром, бром, йод) и обычных кислот в жидком или газообразном состоянии.
2. Взаимодействие с плавиковой кислотой, с фосфорной кислотой при высоких температурах.

Графики, отражающие свойства:

1. Зависимость вязкости от температуры.

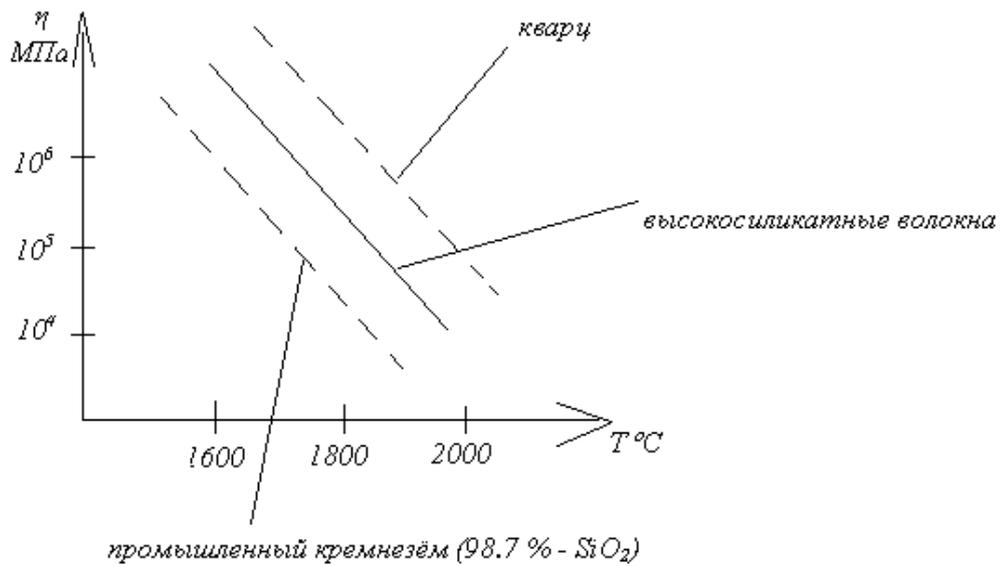


Рисунок 2.4 - Зависимость вязкости от температуры.

2. Зависимость прочности от температуры.

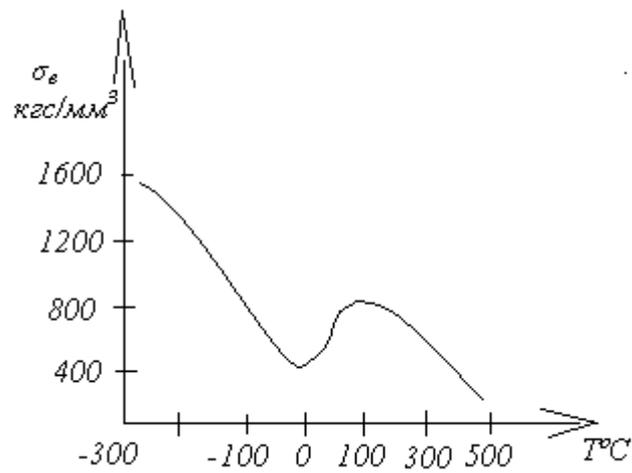


Рисунок 2.5 - Зависимость прочности от температуры.

3. Прочность кварцевых волокон от времени нагрева

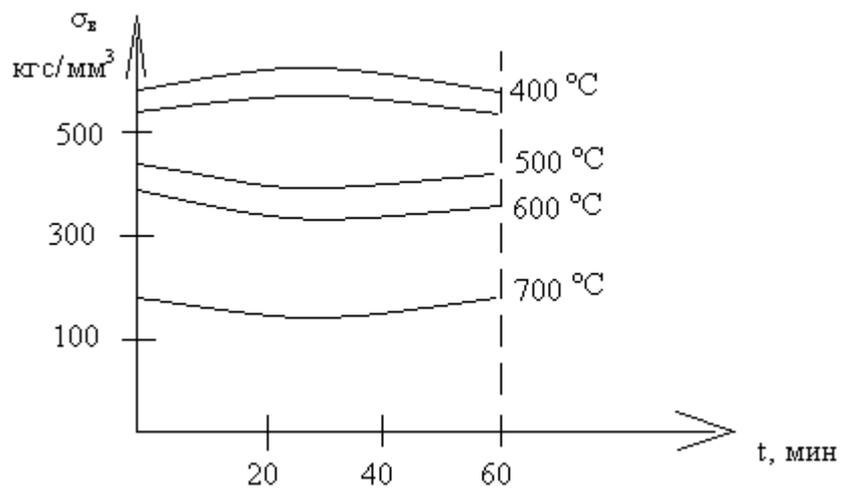


Рисунок 2.6 - Прочность кварцевых волокон от времени нагрева.

2.2 Виды армирующих волокнистых систем.

Армирующие элементы (волокна), в соответствии с рисунком 2.7, вводят в матричную основу как разориентированными, так и придавая им определенную ориентацию. Одним из главных способов изготовления армирующих систем с требуемой ориентацией волокон является их текстильная переработка.

Дискретные волокна обычно перерабатывают в пряжу, длинные волокна, в идеале они квазинепрерывны, используют для получения ровингов(ровницы).



Рисунок 2.7 - Виды армирующих волокнистых систем.

Пряжа - нить из дискретных волокон, соединенных при помощи скручивания в процессе прядения. Скручивание очень сильное, так как по-другому невозможно скрутить волокна, чтобы они не распались.

Пряжа может быть:

1. однородная;
2. смешанная.

Пряжа предназначена как для непосредственного армирования материалов, так и для последующей ткацкой или трикотажной переработки нитей.

2.2.1 Стекловолоконные ровинги

Стекловолоконные ровинги (рисунок 2.8) представляют собой объединение непрерывных и параллельных жгутов или элементарных волокон. Традиционный ровинг производится совместным прядением (скручиванием) нескольких простых жгутов, число которых определяется требованиями последующей переработки.

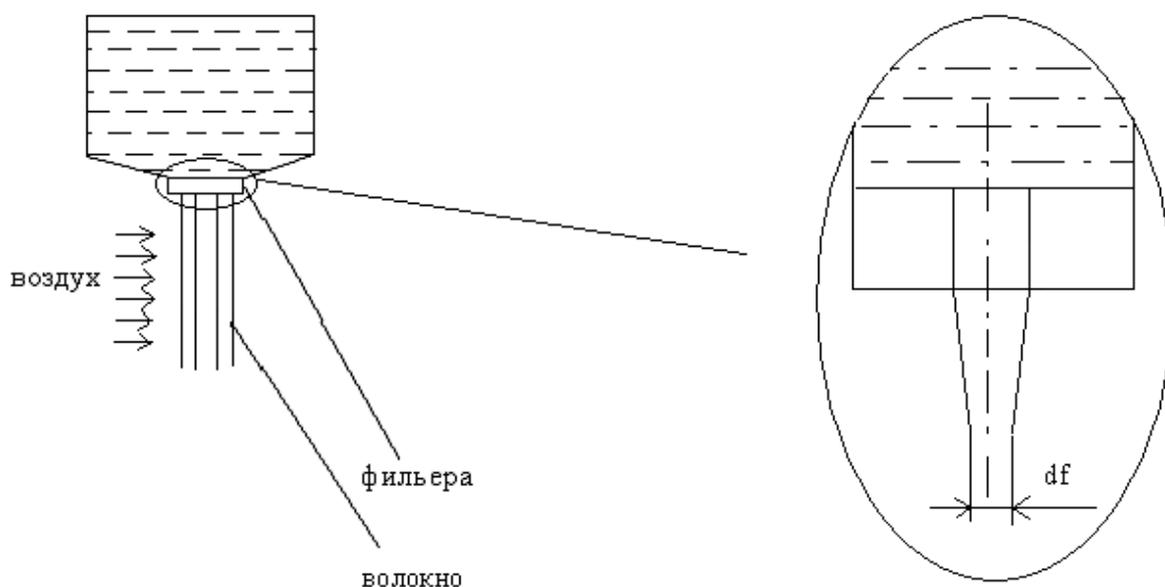


Рисунок 2.8 - Ровница.

Параметром ровинга является длина единицы его массы, так называемый развес. Развес ровинга лежит в основном в пределах 3600...450 м/кг.

Большая часть стекловолокна перерабатывается в грубые ткани. Ткань выпускается с плотностью 0.407..1.356 кг/м² и с толщиной 0.51..1.02 мм.

2.2.2 Ткани

В результате ткацкой переработки пряжи (нитей, ровингов) получают ткани и сетки. Эти армирующие элементы характеризуются заданным порядком взаимного расположения нитей, определяющим их структуру и свойства. Нити продольной системы (основы) и поперечной (утка) переплетаются так, что их осевые линии изогнуты. Наиболее простые виды переплетения нитей в тканях и сетках: полотняное и саржевое (рисунок 2.11).

Однако полотняные ткани и сетки обладают рядом существенных недостатков, главный из которых состоит в том, что их можно изготовить только из достаточно пластичных (податливых) пряж и волокон. Еще один недостаток состоит в том, что наличие контакта между продольными и поперечными нитями (проволоками, волокнами) приводит к их пережигам в процессе трансверсального уплотнения композиций.

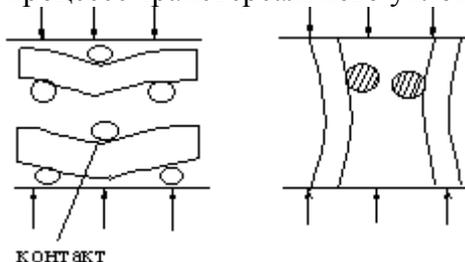


Рисунок 2.9 - Тканые сетки.

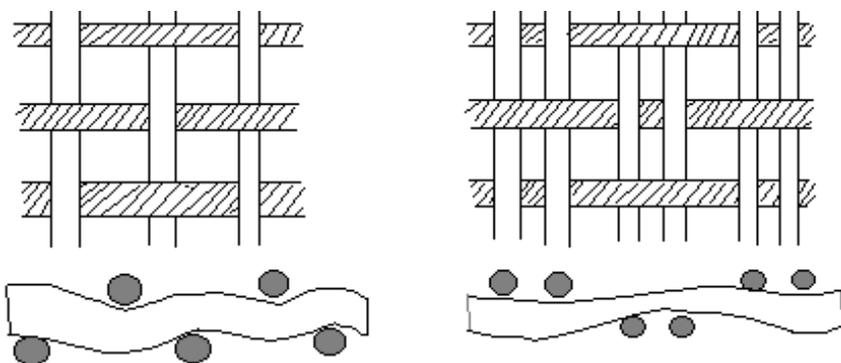


Рисунок 2.10 - Полотняная сетка. Рисунок 2.11 - Саржевая сетка.

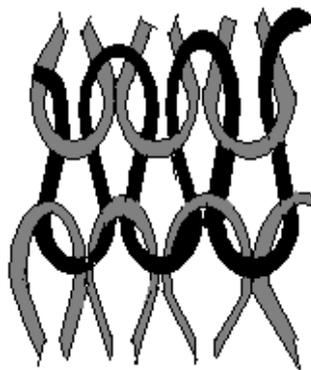


Рисунок 2.12 - Сетка «Курлиная гладь».

Приведенных недостатков лишены трикотажные (вязанные) сетки или ткани. Сетка типа "курлиная гладь"(рисунок 2.12) состоит из петель, дающих петельные ряды и столбики, которые образуются из нанизанных друг на друга петель и располагаются в направлении перпендикулярном к петельным рядам. Более сложным строением обладают трикотажные ткани типа "ластик", в которых лицевые петельные столбики чередуются с изнаночными.

Волокна в полотняных сетках (рисунок 2.10) начинают работать гораздо раньше, чем волокна в трикотажных сетках.

Существуют также: саржевое ломаное 3/1 переплетение, восьмиремизсковое сатиновое переплетение, ткани с гофрированными нитями, трехмерные ткани, однонаправленные ткани (высокопрочная основа и тонкий низкопрочный редкий уток), нетканые однонаправленно армированные системы.

Саржевое ломаное 3/1 переплетение - одна нить основы перекрывается 3мя нитями утка

сверху и одной снизу с образованием нерегулярного рисунка.

Восьмиремизсковое сатиновое переплетение - одна нить основы перекрыта семью нитями утка сверху и одной снизу, с образованием нерегулярного рисунка. Эта ткань обладает максимальной изотропной прочностью.

Волоконная пряжа может перерабатываться также в тесьму, контурные ткани, ткани с гофрированными нитями и трехмерные многослойные ткани.

-Тесьма представляет собой узкую (до 30 см) ткань, которая может содержать распушенную кромку;

-Контурные ткани - такие, у которых геометрия и форма совпадают с контуром изделия.

Ткани с гофрированными нитями состоят из двух слоев, соединенных вместе нитями так, что конфигурация соединений представляет собой треугольник или прямоугольник.

Трехмерные ткани - обычные плоскостные ткани, соединенные пряжей в третьем направлении (по сравнению с тканями с гофрированными нитями имеют большее количество слоев и более сложную систему сшивки). (3D("Звезда"), 4D, 5D...)

Свойства некоторых простых тканей из стекловолоконного ровинга приведены в таблице 2.4:

Таблица 2.4 - Характеристики некоторых простых тканей из стекловолоконного ровинга.

Основа/уток, число нитей в см.	Плотность, кг/м ²	Толщина, мм
2 / 3.2	0.61	0.787
2 / 3.2	0.814	0.965
2 / 2.4	1.02	1.24
2 / 3.2	1.22	1.32

2.2.3 Стекловолоконные маты

3 основных типа матов:

1. из резаных нитей;
2. Из непрерывных нитей;
3. Декоративные маты (покрытия).

Маты из резаных волокон изготавливают обычно в виде нетканых материалов, для которых стекловолокна получают резкой путанки или резкой непрерывного жгута на штапельки длиной 25-50 мм. Волокна имеют преимущественно случайное распределение в горизонтальной плоскости и часто удерживаются вместе химическим связующим.

Плотность матов составляет обычно 0.229..0.916 кг/м², они могут иметь толщину 50..2000мм.

При изготовлении матов, получаемых из нерезанных непрерывных жгутов, волокна раскладываются и соединяются в виде спиралей. Такие маты не требуют дополнительной связи склеиванием, связь образуется за счет механического переплетения.

Декоративные маты - очень тонкие маты, которые изготавливают как правило из непрерывных нитей и используют для отделки и армирования поверхностей.

2.3 Волокна, используемые для армирования металлокомпозитов

Для армирования КМ на основе металлической матрицы применяются волокна различной природы:

1. Металлические волокна;
2. Неметаллические волокна (в чистом виде);
3. Волокна из оксидов, карбидов, боридов, нитридов, карбидов.

Металлическая проволока - один из самых доступных типов волокон, который по конструкционной прочности иногда превосходит другие виды. Она также более технологична, выгодна с экономической точки зрения и более надежна в эксплуатации. Для армирования КМ применяют металлическую проволоку из сталей; Wf, Mo, Be, Ti, Nb и прочих металлов и сплавов.

2.3.1 Стальная проволока

Высокопрочная проволока из нержавеющей стали - один из наиболее распространенных упрочнителей КМ.

Преимущества проволоки из нержавеющей стали по сравнению с углеродистыми сталями заключаются в большей теплостойкости и наличии пассивной поверхности, слабо взаимодействующей не только с атмосферой, но и с матричным материалом. Наибольшей эффективностью при изготовлении металлокомпозитов (например, на основе Al матрицы) обладают волокна из мартенситно стареющих сталей.

Технологический процесс производства проволок из мартенситно стареющих сталей, также как и из прочих нержавеющей сталей, включает волочение заготовок из катанки диаметром 6000 мкм, с предварительным их прогревом и последующей окончательной калибровочной протяжкой через алмазные фильеры (рисунок 2.13).

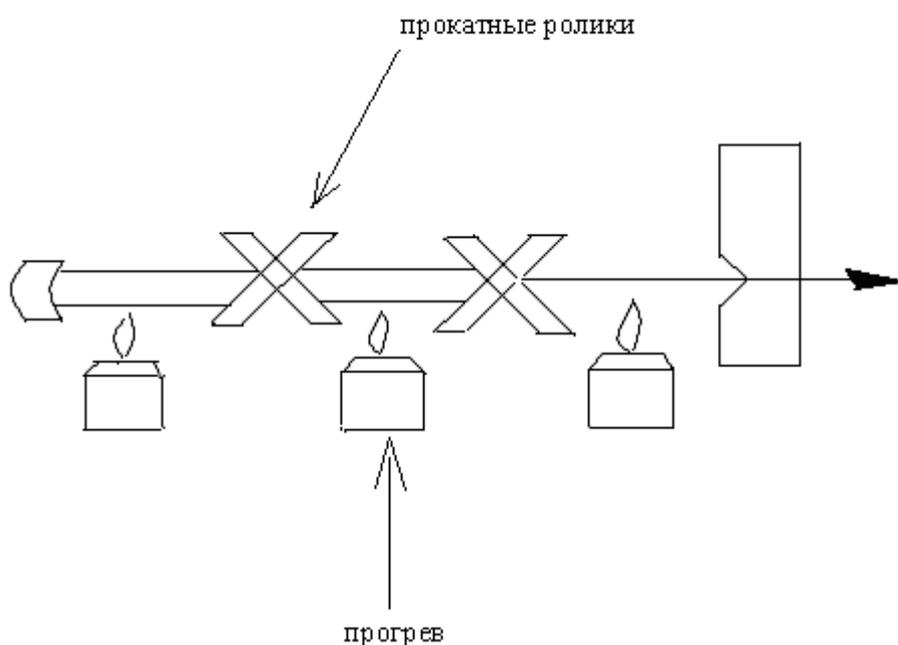


Рисунок 2.13 - Алмазная фильера.

Стабильные механические характеристики мартенситно стареющих сталей получают гомогенизацией заготовок при $t=1200-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении двух часов. С этих же температур производят закалку, которая придает мартенситно стареющим сталям очень высокую пластичность (почти не меняя прочность).

Завершающей операцией получения проволок из мартенситно стареющих сталей является старение, которое придает им высокую прочность. Его проводят при $t=500-530\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 6-8 часов.

Большинство высокопрочных стальных проволок чувствительны к поверхностным и внутренним дефектам, поэтому, при растяжении проволок с увеличением длины образца, средняя прочность снижается. Остальное снижение предела прочности и пластичности (прочность и пластичность локализована в каких-то областях из-за внутренних и внешних нагартовых дефектов) приходится на область баз (расстояние между захватами испытательных машин, относительно малой длины). Малые базы: $10d \leq l \leq 100d$, а с увеличением длины базы прочность убывает незначительно.

Прочность при растяжении волокон из нержавеющей сталей при комнатной температуре меньше прочности волокон из углеродистых сталей, но проволоки из мартенситно стареющих сталей обладают большей прочностью, чем проволоки из нержавеющей сталей.

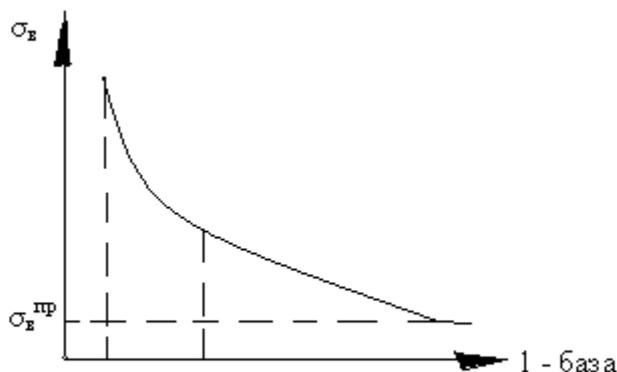
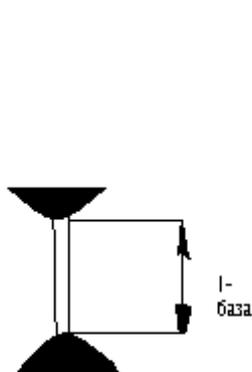


Рисунок 2.14 - Растяжение.

Рисунок 2.15 - График зависимости $l(\sigma)$.

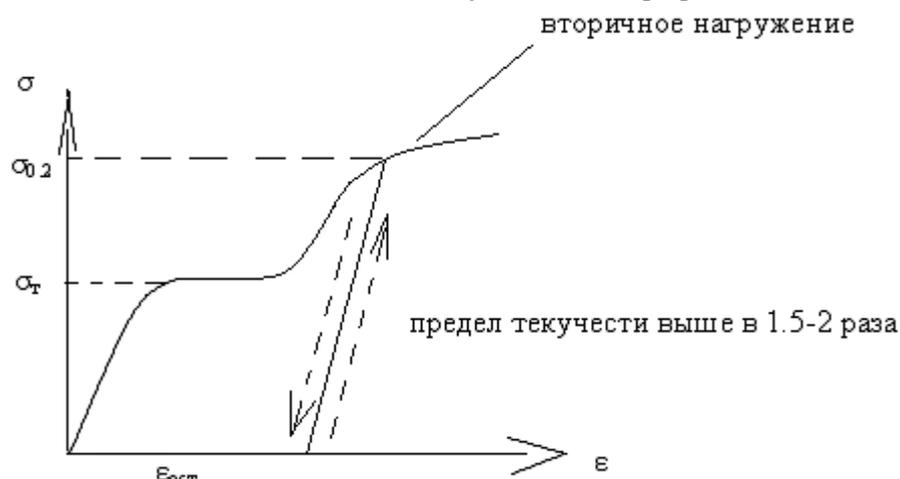


Рисунок 2.16 - График зависимости $\epsilon(\sigma)$.

Стальная проволока применяется в виде однонаправленных лент при изготовлении ламинатных (слоистых) и сэндвичевых КМ, но чаще перерабатывается в ткани, которые используют для производства КМ с ориентацией арматуры в двух направлениях (то есть в перпендикулярных направлениях). Стальные проволоки часто используют в КМ каркасного типа.

2.3.2 Вольфрамовые и молибденовые проволоки

Проволоки из W и Mo имеют высокую прочность и жесткость. К тому же, они имеют еще одно положительное свойство: благодаря физическим свойствам их можно использовать для изготовления КМ на основе жаропрочных матриц: Cu, Ni, Co, Ti и их сплавов.

1. Прессование смеси порошков с получением штабиков;

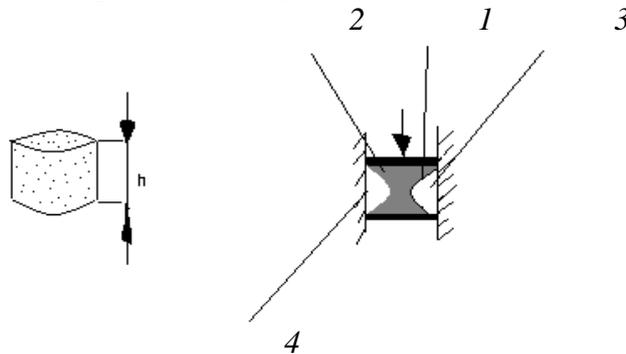


Рисунок 2.17 - Эпюры плотности:

1 – Эпюры плотности; зона 2 - плотность выше, чем в области 3; 4 – специальная смазка для уменьшения трения (в виде белого порошка).

Штабики – это цилиндрики некоторой ограниченной среды. W(вольфрам) и Mo(молибден) не получают в виде отливок путём плавления. Температура плавления W, например, составляет 3000 °. С жидким W очень сложно, так как необходимо найти такой материал, который не будет с ним реагировать (например, керамик). Легче всего получить из порошка компактное тело, то есть не доводить до плавления такой сложный элемент, как W.

Таким образом мы получаем заготовку первичной прочности (штабики держатся за счёт энергии спрессования).

Далее штабики ставят друг на друга, и прикладывают продольное давление. Спекание штабиков производится под давлением в атмосфере водорода (рисунок 2.18):

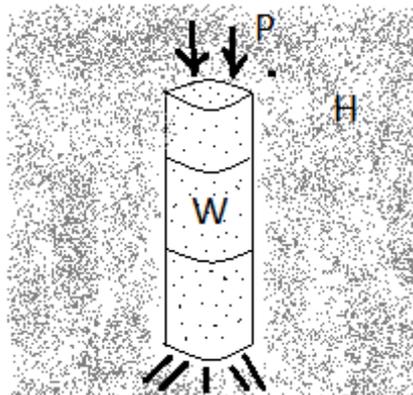


Рисунок 2.18 - Штабики в атмосфере водорода.

Штабики отправляют в печь с t °C близкой к температуре плавления. Водород пускают в камеру, это очень опасный газ, поэтому при выходе его сжигают. Штабики при этом не расплавляются.

Глубокий прогрев металла с целью сварки штабиков при температуре близкой к температуре плавления;

2. Высокотемпературная обработка давлением (рисунок 2.19) с целью образования компактной прутковой заготовки $d=2.75$ мм без предварительного отжига.

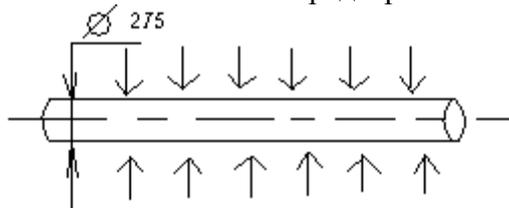


Рисунок 2.19 - Высокотемпературная обработка давлением.

Волочение происходит на волоочильных барабанных станах, начиная с $t=1000$ °С и заканчивая $t=600$ °С с промежуточными отжигами.

Технология изготовления Мо проволоки аналогична технологии изготовления W проволоки. Волочение ведётся с большим коэффициентом вытяжки на барабанных волоочильных станках, но без промежуточных отжигов.

W и Мо в деформированном состоянии обладают высокой прочностью и длительной прочностью при повышенных и комнатных температурах. Предел текучести W проволоки при $t=1000$ °С равен 2140 МПа.

Механические свойства W сильно зависят от:

1. скорости деформирования, особенно в области перехода из пластического состояния в хрупкое.
2. жёсткости нагружения.

Модуль упругости (можно рассчитать по формуле 2.1) W при $t=25$ °С составляет 410 ГПа, при $t=2400$ °С равен 227 ГПа.

Модуль сдвига тянутой W проволоки увеличивается с возрастанием степени деформирования. Для тонких проволок, $d=50 - 120$ мкм $G(25)=220$ ГПа.

$$\frac{E}{2(1 + \mu)} = G \quad E \approx 2.5G \quad E = 550 \text{ ГПа} \quad (2.1)$$

2.3.3 Бериллиевая проволока

Бериллиевые проволоки обладают высокой удельной прочностью, высоким модулем упругости и жесткости (свойства некоторых волокон можно посмотреть в таблице 2.5). Но они слишком дорогие для широкого использования. В отличие от большинства металлов, бериллий при легировании разупрочняется.

Технология изготовления бериллиевой проволоки аналогична технологии изготовления проволок на основе W и Мо. Она используется для армирования КМ в виде непрерывных или дискретных волокон. Ввиду высокой жесткости в сетки (ткани) она не перерабатывается.

Таблица 2.5 - Свойства некоторых волокон.

Волокно (проволока)	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Отношение предела прочности к плотности, МПа×м ³ /кг	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа	Отношение Модуля упругости к плотности, ГПа×м ³ /кг
Бериллий	1856	1284	0,706	1310	303	0,163
Кварц	2188	1927	4,5	<8000	70	0,032
Сталь	7811	1621	0,529	4130	200	0,026

Титан	4709	1668	0,410	1930	115	0,024
Вольфрам	19252	3410	0,222	4270	400	0,021

2.3.4 Волокна бора, карбида кремния и борсика

Благодаря высокой прочности, жесткости, малой плотности эти волокна весьма перспективны для упрочнения КМ в целом и в частности матриц на основе легких металлов (Al, Mg, Ti).

Основой технологии получения таких волокон является газозаимное осаждение бора и (или) карбида кремния на вольфрамовую подложку (проволоку диаметром 10-15 мкм), в соответствии с рисунком 2.20.

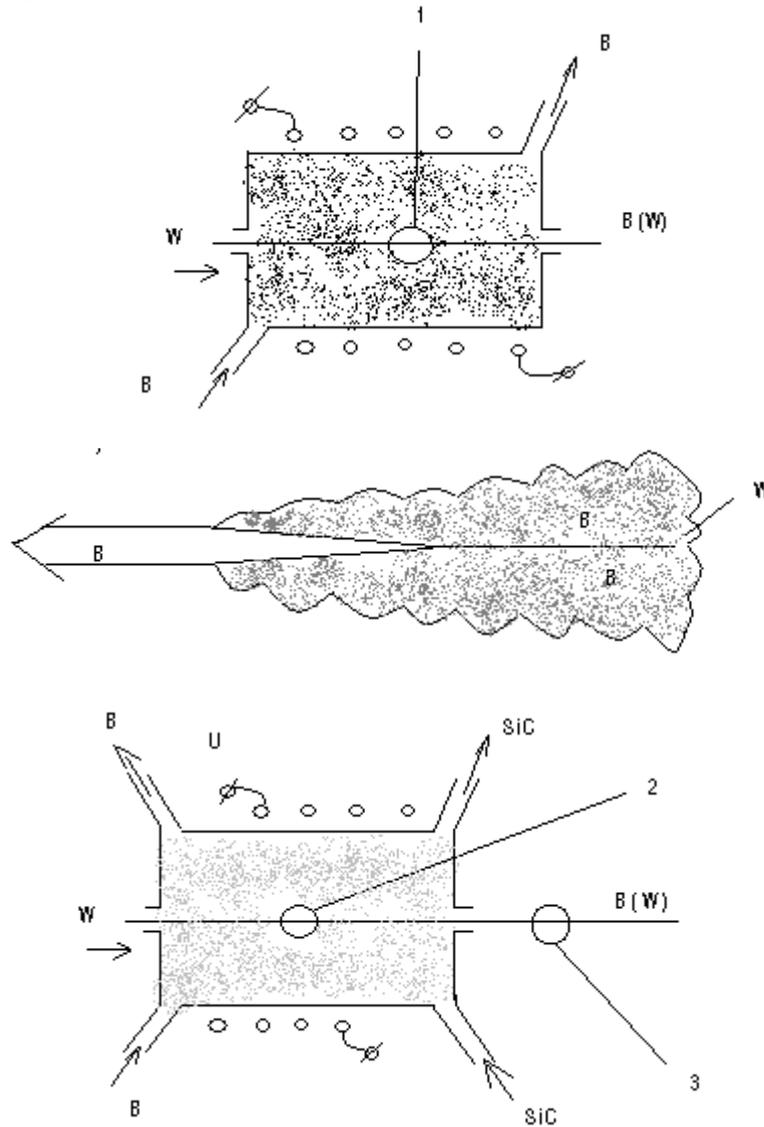


Рисунок 2.20 - Газофазное осаждение бора и (или) карбида кремния на вольфрамовую подложку.

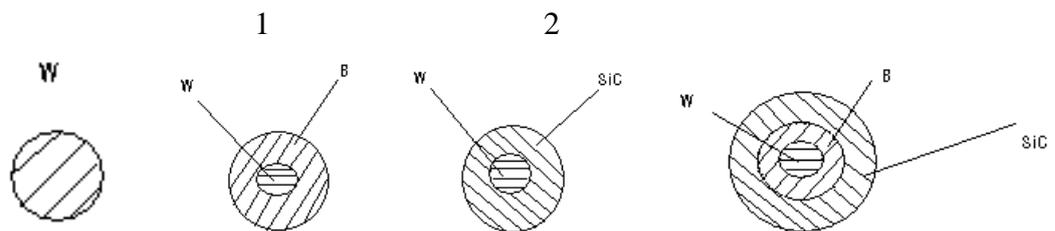


Рисунок 2.21 - Волокна борсика.

Волокна бора, покрытые тонким слоем (3-5 мкм) карбида кремния, называется волокнами борсика (рисунок 2.21). Модуль упругости, которого составляет 380 - 500 ГПа, предел текучести равен 2 - 4 ГПа.

Эта технология очень сложная, требует тонкой работы. Температура плавления бора, сила натяжения, скорость подачи компонентов должны быть точно подобраны, а иначе может расплавиться вольфрам, так как температура плавления бора примерно равно температуре плавления вольфрама. Очень сложно выдерживать продолжительное время.

При повышении температуры на воздухе прочность волокон борсика и карбида кремния гораздо выше чем у бора. Прочность этих волокон уменьшается с увеличением базовой длины из-за наличия поверхностных дефектов, которые можно значительно снизить методом электролитического травления. Волокна бора, карбида кремния и борсика используют при армировании КМ в дисперсном и непрерывном виде, а также в виде полуфабрикатов - предварительно подготовленных однонаправленных лент, пропитанных матрицей. Ввиду высокой жесткости в сетки их не перерабатывают.

2.3.5 Нитевидные кристаллы

Используются для армирования КМ. Условно делятся на керамические и металлические.

Нитевидные кристаллы имеют монокристаллическую структуру и диаметр до 10 мкм при отношении длины к диаметру 20-100 раз.

Нитевидные кристаллы вырабатывают несколькими методами:

1. Выращивание из покрытий в электрическом поле;
2. Осаждение из газовой фазы;
3. Химическими методами;
4. Кристаллизация из растворов.

Благодаря совершенству структуры нитевидные кристаллы имеют высокие, близкие к теоретическим, механические свойства (свойства некоторых нитевидных кристаллов можно посмотреть в таблице 2.6). Наиболее значимая характеристика для усов нитевидных кристаллов при растяжении - зависимость их прочности от диаметра: чем меньше диаметр, тем больше прочность.

Таблица 2.6 - Свойства некоторых нитевидных кристаллов.

материал кристаллов	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, ×0.0001 кгс/мм ²	Максимальный предел прочности, кгс/мм ²
Графит (С)	3640	1660	7.1	1985
SiC	2665	3320	4.9	2100
Al ₂ O ₃	2040	3680	6.4	2800
Fe	1540	6370	2.0	1330
Cu	1080	8860	1.3	300

Наибольшее применение в армировании КМ получили нитевидные кристаллы Al₂O₃ и SiC.

Нитевидные кристаллы имеют идеальную структуру в некотором единичном воплощении, обладают цилиндрическим линейным построением, поэтому аналитический расчет должен быть приближенно равен фактическим значениям.

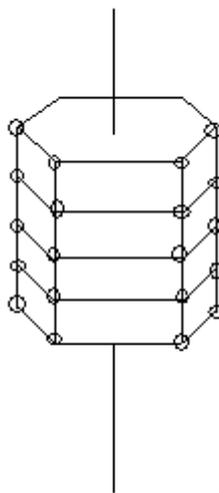


Рисунок 2.22 - Стержень.

Текущая и пластичность деформации связана с касательными напряжениями. Стержень, состоящий из представленных на рисунке 2.22 слоев, разворачивается в процессе пластического деформирования. У графита все бы закончилось на этом процессе, в то время как в другом материале нашлась бы сила, чтобы продолжить деформацию

1.1 Цель учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – приобретение студентами знаний о современных композиционных материалах и процессах их получения, формирования умений и навыков анализа их структуры, измерений и проведения испытаний характеристик, экспериментальных технологических исследований, направленных на повышение эффективности использования композиционных материалов в конструкциях изделий.

в области производства композиционных материалов; полимерных, углеродных и металлических матричных материалов; препрегов и других полуфабрикатов композиционных материалов; компонентов композиционных материалов; волокнистых, слоистых и объемных армирующих систем.

В процессе освоения данной дисциплины студент углубляет и демонстрирует следующие профессиональные компетенции подготовки:

I.– владеть основами методов исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессов в них и в технологиях получения, обработки и модификации материалов, некоторыми навыками их использования в исследованиях и расчетах (ПК-3);

II.– уметь использовать на практике современные представления наук о материалах, о влиянии микро- и нано- масштаба на свойства материалов, взаимодействии материалов с окружающей средой, электромагнитным излучением и потоками частиц (ПК-7);

III.– уметь применять основные типы современных неорганических и органических материалов для решения производственных задач, владеть навыками выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения (ПК-9).

IV.

1.2 Задачи учебной дисциплины

- **изучение** основных типов и характеристик современных компонентов композиционных материалов и способов их сочетания; основ физико-химических процессов и явлений при формировании композиционных материалов и изготовлении

изделий из них; тенденций и направлений развития композиционных материалов и композитных конструкций;

- **формирование умения** выполнения структурного анализа, измерений, испытаний материалов и изделий; овладение методами и приёмами выполнения технологических экспериментов;

V. • **формирование навыков** применения композитов в различных областях машиностроения и нахождения новых технологических решений, позволяющих повышать эффективность композиционных материалов в изделиях

1.3 Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- армирующие системы композиционных материалов, способы их получения, свойства и применение;
- матричные материалы волокнистых композитов;
- свойства волокнистых композитов;
- особенности взаимодействия компонентов композиционных материалов.

1.4 Место учебной дисциплины в структуре профессиональной подготовки выпускников.

Дисциплина «Конструкционные и функциональные волокнистые композиты» относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин рабочего учебного плана и является обязательной при освоении ООП по направлению 150100.62 «Материаловедение и технологии материалов», профилю «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов».

2. Организация учебного процесса

Учебным планом для студентов специальности направления 22.03.01 *Материаловедение и технологии материалов*, профиль: *Конструирование и производство изделий из композиционных материалов (ПКМ)*:

Лекции – 32 часа (16 лекций);

Лабораторные занятия - 9 часов (4 лабораторных);

Практические занятия – 32 часа (16 занятий);

Самостоятельная работа студентов - 99;

Дифференцированный зачёт.

На лекциях излагаются основные положения и более сложные темы курса. Остальные темы изучаются студентами самостоятельно и оформляются в виде презентаций, с последующей защитой. Учитывая небольшой объем лекционных часов и в целях контроля усваиваемости материала, в конце почти каждой лекции проводятся промежуточное тестирование(мини опрос) по предыдущей лекции. Поэтому в интересах студентов присутствовать и прослушать все лекции.

Обязательным является выполнение и защита студентами всех лабораторных работ, предусмотренных программой курса. Студенты, пропустившие и не отработавшие лабораторные работы к экзамену не допускаются.

Аттестация студента по курсу включает:

- защита всех лабораторных работ;
- сдача контрольных и тестов по разделам курса;
- дифф.зачёт.

3. Лекции и контрольные вопросы

Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Модуль 1. Композиционные материалы, общие положения

Раздел. 1. Композиционные материалы, общие положения

Л – 5,5 часов, ПЗ – 12 часов, ЛР – 4 часа, СРС – 30 часов

Введение

Вводная информация. Разъяснение цели и задач дисциплины. Место дисциплины «Конструкционные и функциональные волокнистые композиционные материалы» в общем контексте базового учебного плана по направлению подготовки 150100.62 «Материаловедение, технологии материалов и покрытий». Научный подход в изучении технологии композиционных материалов. Возможности применения волокнистых композитов в различных областях

Тема 1. Композиционные материалы – характеристика, состав и классификация КМ

Определение и сущность понятия «композиционный материал». Компоненты композиционных материалов, понятия *матрицы* и *наполнителя*. Основные принципы классификации композиционных материалов (КМ). Основные подходы и сложившаяся практика классификации КМ. Полиматричные и полиармированные КМ. Геометрический, компонентный, производственный и др. признаки классификации КМ. Исторические и экономические аспекты применения и внедрения КМ. Краткий обзор и характеристика КМ, рассматриваемых в рамках данного курса: полимерные композиционные материалы (ПКМ), углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ), композиционные материалы на *металлической матрице* (МКМ).

Тема 2. Общая характеристика компонентов КМ и требования предъявляемые к ним

Характеристика *армирующих наполнителей* конструкционных, защитных и специальных КМ. *Волокнистые армирующие наполнители* – наиболее распространенный тип наполнителя в конструкционных КМ. Факторы, определяющие *свойства композиционных материалов* при армировании. Характеристика матричных материалов. Влияние матрицы на свойства КМ. Не основные компоненты КМ. Общие требования к совместимости компонентов КМ.

Тема 3. Характеристика конструкционных КМ

Характеристика конструкционных КМ. Особые требования к *армирующим наполнителям* конструкционных КМ. Оптимальное соотношение *армирующего наполнителя* и *матрицы* в конструкционных КМ.

Тема 4. Характеристика функциональных (защитных, специальных и т.д.) композиционных материалов

Характеристика функциональных КМ. Требования, предъявляемые к компонентам функциональных КМ. Особенности структур функциональных КМ в зависимости от специфики эксплуатационных требований.

Тема 5. Особенности межфазного взаимодействия

Термодинамическая совместимость материалов матрицы и наполнителей. Виды межфазного взаимодействия. Понятие толщины реакционной зоны. Типы связей между

компонентами. Кинетика диффузионного взаимодействия компонентов. Законы Фика. Смачивание. Взаимодействие в равновесных условиях.

Модуль 2. Технология получения и применения армирующих компонентов и систем

Раздел 2. Технология получения и применения стекловолокна

Л – 4 часа, ПЗ – 8 часов, ЛР – 4 часа, СРС – 21 час

Тема 6. Виды армирующих элементов. Общая характеристика волокнистых наполнителей

Армирующие волокна и волокнистые наполнители: стеклянные, органические, углеродные, борные волокна, жгуты, нити, ленты, ткани, маты их природа и свойства Назначение и роль их в композиционном материале. Классификация армирующих элементов (по материалам, геометрии, структурному признаку и т.д.).

Тема 7. Объемные волокнистые армирующие системы

Способы и виды 3D – армирования. Основные типы 3D структур, применяемые для изготовления композиционных материалов и изделий из них. Особенности производства *объемных волокнистых структур*, оборудование, приспособления и инструмент.

Тема 8. Производство стеклянных волокон и стекловолоконных армирующих систем

Методы получения и свойства армирующих стекловолокон. Состав стекла. Свойства волокон из некоторых марок стекла. Высокосиликатные и кварцевые волокна. Стеклоровинги, стекломаты и стеклоткани.

Раздел 3. Волокна для армирования металлокомпозитов

Л – 2 часа, СРС – 2 часа

Тема 9. Волокна для армирования металлокомпозитов

Общая характеристика волокон, используемых для армирования металлокомпозитов. Металлическая (стальная, вольфрамовая, молибденовая и бериливая) проволоки. Особенности производства и характеристики волокон из бора, карбида кремния и борсика. Нитевидные кристаллы.

Раздел 4. Технология получения и применения углеродных волокон

Л – 4 часа, СРС – 8 часов

Тема 10. Углеродные волокна

Особенность углеродных волокон (УВ) и технологическая задача при их производстве. Исходное сырье и принцип его обработки при производстве углеродных волокон. Требования, предъявляемые к исходным органическим волокнам. Основные физико-механические свойства углеродных волокон.

Тема 11. Углеродные волокна из полиакрилонитрилового сырья (ПАН)

Технологический алгоритм производства УВ из ПАН. Особенности этапов стабилизации и графитации. Специфика формирования структуры УВ из ПАН. Влияние температурной обработки на структуру и свойства УВ из ПАН. Основные физико-механические характеристики углеродных волокон из полиакрилонитрила.

Тема 12. Производство углеродных волокон из пеков

Особенности технологии производства УВ из пеков. Получение низко модульных волокон из мезофазных пеков. Виды упорядоченной структуры пековых волокон. Особенности этапов сшивки и карбонизации. Влияние температурной обработки и свойства УВ из пеков.

Тема 13. Углеродные волокна из гидратоцеллюлозного сырья (ГТЦ)

Особенности технологии производства УВ из ГТЦ. Особенности этапов стабилизации, карбонизации и графитации. Свойства углеродных волокон из гидрата целлюлозы.

Модуль 3. Технологические особенности связующих и матричных материалов. Методы формования изделий из композиционных материалов

Раздел 5. Полимерные матрицы.

Л – 6 часов, ПЗ – 12 часов, ЛР – 1 час, СРС – 17 часов

Тема 14. Общая характеристика матриц, применяемых в КМ

Матрицы конструкционных и функциональных КМ. Общие требования к полимерным, металлическим, углеродным и керамическим матрицам КМ.

Тема 15. Полимерные матрицы

Общая характеристика полимерных матриц. Природные, искусственные и синтетические полимеры - основа связующих полимерных композиционных материалов (ПКМ). Структура полимеров - как фактор, определяющий свойства связующего и ПКМ. Полярные и неполярные, термопластичные и терморективные полимеры.

Тема 16. Термопластичные полимеры

Структурные и технологические особенности термопластичных полимеров и КМ на их основе. Достоинства и недостатки термопластичных полимеров при производстве КМ. Технологические параметры, оборудование и инструменты, применяемые при изготовлении КМ с использованием термопластичных полимеров. Основные свойства термопластичных полимерных матриц.

Тема 17. Терморективные полимеры

Характеристика исходного сырья. Структурные и технологические особенности терморективных полимеров и КМ на их основе. Достоинства и недостатки термопластичных полимеров при производстве КМ. Примеры и основные свойства термопластичных полимерных матриц.

Тема 18. Технологические особенности полимерных связующих

Природа усадки полимерных связующих. Характеристика реакций полимеризации и поликонденсации. Особенности технологии производства КМ при затвердевании связующего по реакции поликонденсации. Оборудование и инструменты, применяемые при изготовлении КМ на основе реактопластов.

Тема 19. Термостойкие полимерные матрицы

Особенности термостойких полимерных материалов. Технологические особенности производства КМ на термостойких полимерных матрицах. Свойства КМ на термостойких полимерных связующих.

Раздел 6. Углеродные матрицы

Л – 6 часов, ПЗ – 4 часа, СРС – 12 часов

Тема 20. Углеродные матрицы

Особенности свойств углеродных материалов. Общая характеристика углеродных матриц. Классификация углеродных матриц.

Тема 21. Коксовая матрица

Основной принцип формирования углерод-коксовой матрицы. Характеристика и требования, предъявляемые к углеродсодержащим исходным веществам. Реакции термохимической обработки полимерных смол. Пеки – наиболее перспективное сырье для образования коксовых матриц. Мезофазные пеки. Особенности термохимической обработки пекового сырья. Принцип Ле-Шателье – Брауна и явление криппа. Основные физико-механические свойства коксов, полученных из полимерных смол различных марок.

Тема 22. Пироуглеродная матрица

Сущность пиролиза. Виды твердых продуктов термического разложения углеводородов. Понятие пиролитического углерода (ПУ). Особенности пироуглеродных материалов. Специфика пироуглеродных матриц. Схема установки для газофазного осаждения пироуглерода. Состав установки и описание процесса осаждения. Условия достижения оптимальных характеристик пироуглерода.

Тема 23. Комбинированная углеродная матрица

Понятие комбинированной углеродной матрицы. Обоснование необходимости применения комбинированных углеродных матриц. Особенности термохимической обработки комбинированной углеродной матрицы.

Тема 24. Модифицированная углеродная матрица

Понятие модифицированной углеродной матрицы. Цели легирования углеродных материалов. Особенности легирования углеродных материалов бором, кремнием и их соединениями. Боросилицированные углеродные материалы. Основные физико-механические характеристики борированного и силицированного графита различных марок.

Раздел 7. Композиты на металлической матрице

Л – 4,5 часа, СРС – 9 часов

Тема 25. Общая характеристика и классификация методов получения композиционных материалов на металлической матрице (МКМ)

Методы получения и обработки МКМ. Получение препрегов и готовых изделий из МКМ. Общие требования, предъявляемые к технологии при производстве композиционных материалов на *металлической матрице*.

Тема 26. Твердофазные методы получения МКМ

Использование фольг и порошков при применении твердофазных методов получения МКМ. Импульсные, статические и динамические методы получения МКМ. Классификация и особенности импульсных методов получения МКМ – сварка взрывом, магнито-импульсное компактирование и электрогидроимпульсное компактирование. Специфика статических твердофазных методов получения МКМ – диффузионная сварка, гидростатическое компактирование, спекание под давлением. Характеристика динамических твердофазных методов.

Тема 27. Жидкофазные методы получения МКМ

Положительные и отрицательные аспекты использования жидкофазных методов получения МКМ. Классификация жидкофазных методов. Характеристика получения МКМ методами пропитки. Особенности технологии получения МКМ методами литья.

Тема 28. Получение МКМ методами осаждения

Общая характеристика и классификация процессов осаждения при получении МКМ. Особенности химических, электрохимических и паро- газофазных методов нанесения покрытий. Основные направления применения методов осаждения при получении МКМ.

Заключение

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Тема 1. Свойства композитов: упругие, прочностные, тепло-физические, электрические и магнитные свойства основных типов однонаправленных, слоистых и объемно-армированных композитов.

Тема 2. Свойства волокнистых наполнителей: упругие, прочностные, тепло-физические, электрические и магнитные свойства основных типов волокнистых наполнителей КМ и

армирующих систем (ткани, маты, и пр.).

Тема 3. Свойства матриц: упругие, прочностные, тепло-физические, электрические и магнитные свойства основных типов матриц (полимерные, углеродные, металлические).

Тема 7. Объемные волокнистые армирующие системы

4. Лабораторные занятия

Методические и учебные пособия для лабораторных можно найти на электронных информационных образовательных ресурсах: eLibrary [Электронный ресурс: полнотекстовая база данных: электрон. журн. на рус., англ., нем. яз. : реф. и наукометр. база данных] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1869- . – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>. – Загл. с экрана; электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. — Электрон. дан. (1 912 записей). — Пермь, 2014- . — Режим доступа: <http://elib.pstu.ru/>. — Загл. с экрана; Лань [Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманит., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань». – Санкт-Петербург : Лань, 2010- . – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>. – Загл. с экрана

1. Полимерные композиционные материалы : учебное пособие / А. Н. Бобрышев, В. Т. Ерофеев, В. Н. Козомазов ; Ассоциация строительных вузов .— Москва : Изд-во АСВ, 2013 .— 474 с.
2. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.] .— Долгопрудный : Интеллект, 2010 .— 347 с.
3. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин .— Санкт-Петербург : Науч. основы и технологии, 2009 .— 658 с.
4. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин .— СПб : Науч. основы и технологии, 2008 .— 820 с.

Решение конкретных задач технологии материалов на основании теоретических знаний с применением современных инженерных компьютерных программ. Каждая лабораторная работа проводится по своему алгоритму. При проведении лабораторных работ преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов составления алгоритмов решения задач; закрепление основ теоретических знаний; развитие навыков решения задач вычислительной механики.

Лабораторные работы выполняются группой, состоящей из 3-4 студентов. Подготовка к лабораторным работам требует достаточное количество времени, поэтому целесообразно планировать ее заранее.

Каждому занятию предшествует предварительная подготовка студента, которая включает в себя: а) ознакомление с содержанием лабораторной работы по методическим указаниям к ней; б) проработку теоретической части по учебникам, рекомендованным в методических указаниях.

Для получения зачета по работе необходимо представить преподавателю оформленный отчет со всеми необходимыми расчетами, таблицами и рисунками и защитить его в ходе последующего собеседования. Для получения зачета студент представляет преподавателю оформленный отчет.

Отчет должен содержать:

- 1) название лабораторной работы;
- 2) цель;
- 3) таблицу для занесения результатов;
- 5) теоретическую часть (основные понятия и законы);

б) ответы на вопросы из методички.

Теоретическая часть должна быть краткой, занимать не более листа. Она должна содержать основные положения, лежащие в основе изучаемого материала. Отчет должен быть оформлен аккуратно: рисунки и таблицы следует выполнять по линейке.

Перечень тем лабораторных работ

1. Определение макро- и микроструктуры материалов различными методами
2. Анализ классификационных признаков композиционных материалов
3. Формирование армирующих каркасов тканевой выкладочно-прошивной структуры
4. Подготовка армирующего наполнителя, приготовление связующего

Пример лабораторной работы «Анализ классификационных признаков композиционных материалов»:

Лабораторная работа

Тема: Композиционные материалы и их классификационные признаки

Цель: Изучить образцы КМ на предмет выделения их классификационных признаков

Задачи:

1. Ознакомление с образцами КМ;
2. Зафиксировать внешний вид и особенности образцов КМ;
3. Описать образцы КМ ;
4. Сформулировать классификационные признаки образца.

Приспособления, инструменты: линейка, камера 13Мп.

Образцы:

1. Однонаправленный органопластик (ПКМ)
2. Слоистый КМ
3. Углепластик (ПКМ)
4. Углеродная ткань
5. Углерод-углеродный КМ (УУКМ)

Теоретическая часть

Композиционные материалы и их классификационные признаки

КМ - материалы, состоящие из 2х или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих и связующей их матрицы) и обладающие следующими признаками:

- Не встречаются в природе, так как созданы человеком;
- Состоят из 2х или более компонентов, различающихся по своему составу и разделенных выраженной границей (не должны растворяться или иными способами поглощать друг друга);
- Имеет новые свойства, отличных от свойств составляющих их компонентов;
- Неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе;
- Состав, форма и распределение компонентов запроектированы заранее;
- Свойства КМ определяются из взаимодействия компонентов.

Компонент КМ, непрерывный во всем объеме, называется матрицей (связующим), компонент прерывистый, разъединенный в объеме композиции называется армирующим элементом (наполнителем). Понятие "армирующий" означает введенный материал с целью изменения свойств. Изменение свойств может быть в ту или иную сторону, не обязательно упрочняющую.

КМ - материал неоднородный. Деление материалов на композиционные и некомпозиционные определяется объективной необходимостью применения тех или иных моделей.

КМ классифицируются по следующим признакам:

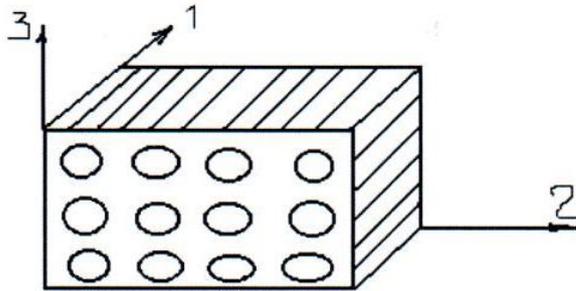
1. Материалы матрицы и армирующих элементов;
2. Геометрия компонентов;
3. Методы получения;
4. Назначение.

Общее название КМ как правило происходит от материала матрицы:

1. Материал называется полимерным КМ (ПКМ), если одна из фаз (один из компонентов) этого материала – полимер, а другие фазы (другие компоненты) твердые, жидкие или газообразные вещества;
2. Если матрицей является металл, то это металлокомпозит или МКМ;
3. Если связующим является углерод, то имеем УКМ, а армирующим компонентом (наполнителем) является углеродный волокнистый материал, то имеем С-С КМ, то есть УУКМ;
4. Если матрица состоит из керамического материала, то это керамический КМ или ККМ.

По виду армирующего наполнителя КМ делятся на:

1. КМ с дисперсными частицами (гранулированными, объемными);
2. КМ с поверхностными и плоскостными армирующими частицами;
3. Волокнистые КМ.



Трансверсально изотропные КМ - имеющие плоскость изотропии и перпендикулярную ей ось симметрии бесконечного порядка (однонаправленные КМ, слоистые КМ с так называемой "звездной" укладкой волокон, при условии, что угол м/у направлениями укладки волокон в смежных слоях меньше 72°

В соответствии с классификацией КМ по структуре расположения компонентов разделяются на группы с каркасной, матричной, слоистой и комбинированной структурой.

В соответствии с классификацией по методам получения КМ разделяют на:

- a. твердофазные методы;
- b. жидкофазные методы;
- c. газофазные методы + методы осаждения, напыления;
- d. комбинированные методы.

К твердофазным методам относят:

- прессование;
- прокатка;
- ковка;
- штамповка;
- уплотнение взрывом;
- диффузионная сварка;
- волочение;
- экструзия и т.п.

К жидкофазным методам относят:

- пропитка;
- направленная кристаллизация сплавов;
- мокрая намотка;
- экструзия (жидкая);
- выплавка.

Газофазные методы (осаждения – напыления):

Матрица наносится на волокна из технологической среды растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и др.

К некоторым КМ понятие «матрица» и «арматура» не применимо. К таким материалам относятся слоистые КМ, состоящие из чередующихся слоёв двух металлических сплавов, или псевдосплавов, имеющих каркасное строение, которые, в основном, получают пропиткой пористой заготовки более легкоплавким компонентом. Их структура представляет собой 2 взаимопроникающих непрерывных каркаса.

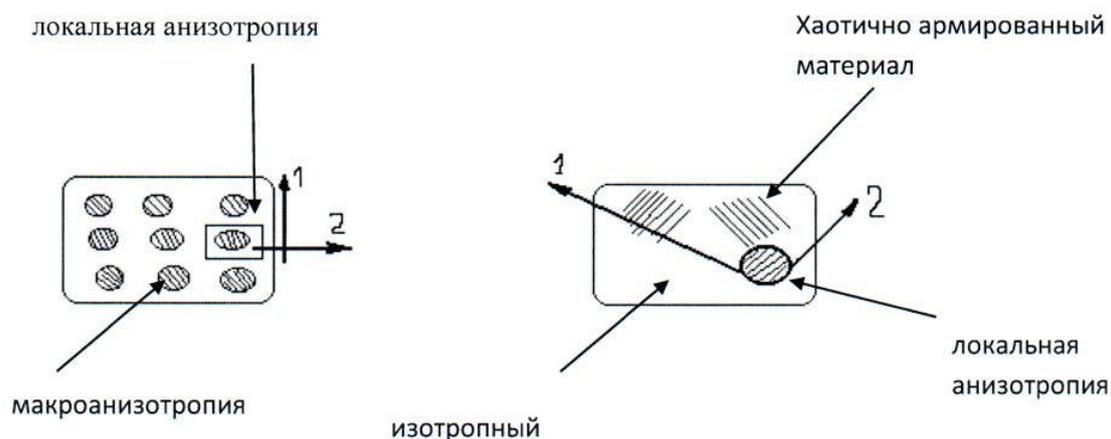
Волокнистые КМ можно классифицировать в зависимости от дисперсности или непрерывности волокон, а также от их ориентации:

1. Однонаправленные КМ с непрерывными волокнами;
2. КМ с дискретными волокнами;
3. КМ с непрерывными волокнами, ориентированными во многих направлениях.

В зависимости от геометрии армирующих компонентов и их взаимного расположения композиты бывают:

1. Изотропными;
2. Анизотропными.

К макроскопически изотропным композитам относят дисперсно упрочненные сплавы, псевдосплавы и хаотично армированные КМ.



Ортотропные (ортогонально изотропные) КМ характеризуются наличием в каждом элементарном объеме 3х взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии свойств (КМ, армированные последовательно чередующимися слоями волокон в 2х взаимно перпендикулярных направлениях, КМ, армированные тканями с продольнопоперечной укладкой).

VI. В соответствии с классификацией по методам получения КМ разделяют на:

- a. твердофазные методы;
- b. жидкофазные методы;
- c. газофазные методы + методы осаждения, напыления;
- d. комбинированные методы.

К твердофазным методам относят:

- прессование;
- прокатка;
- ковка;
- штамповка;
- уплотнение взрывом;
- диффузионная сварка;
- волочение;
- экструзии т.п.

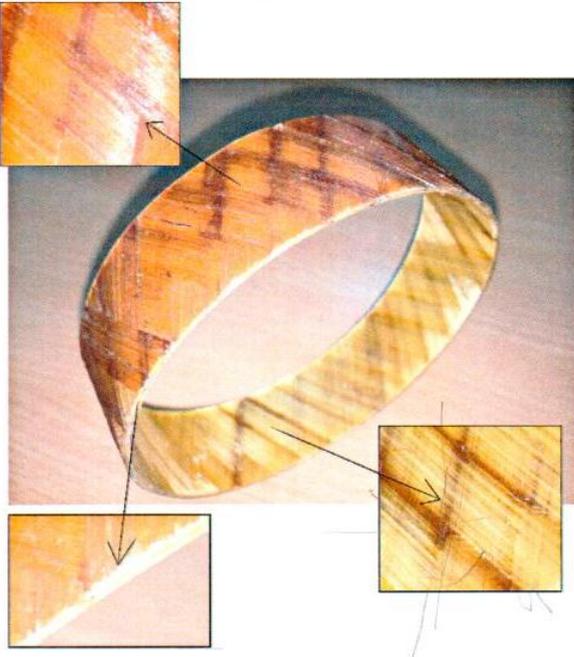
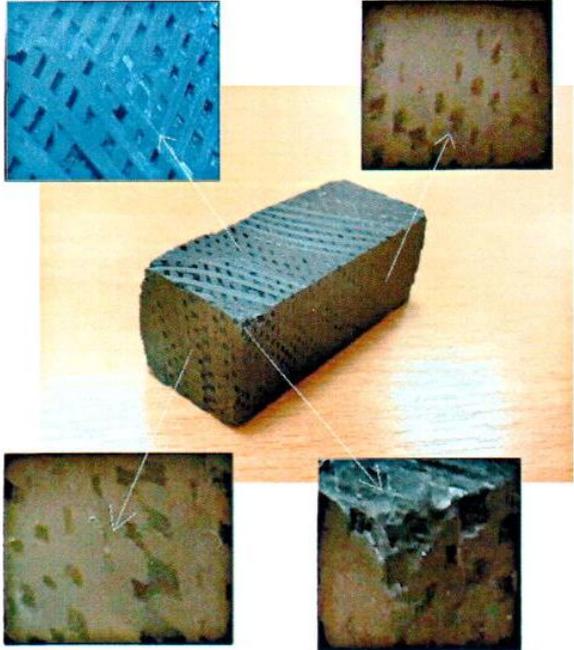
К жидкофазным методам относят:

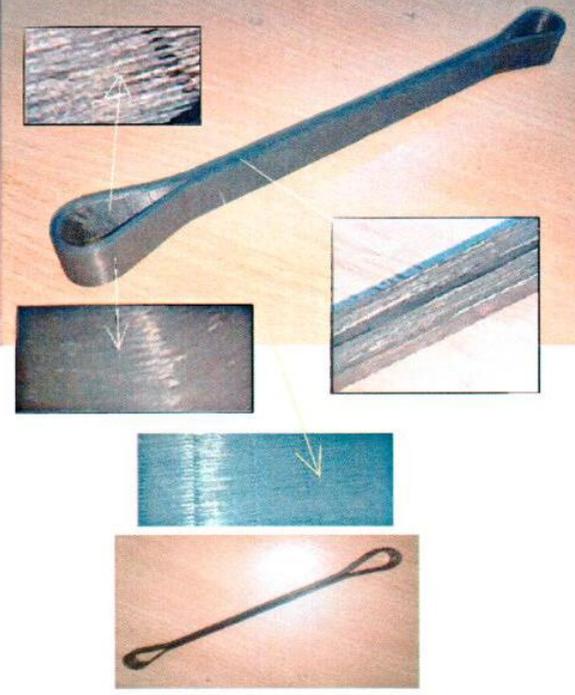
- 1. пропитка;
- 2. направленная кристаллизация сплавов;
- 3. мокрая намотка;
- 4. экструзия (жидкая);
- 5. выплавка.

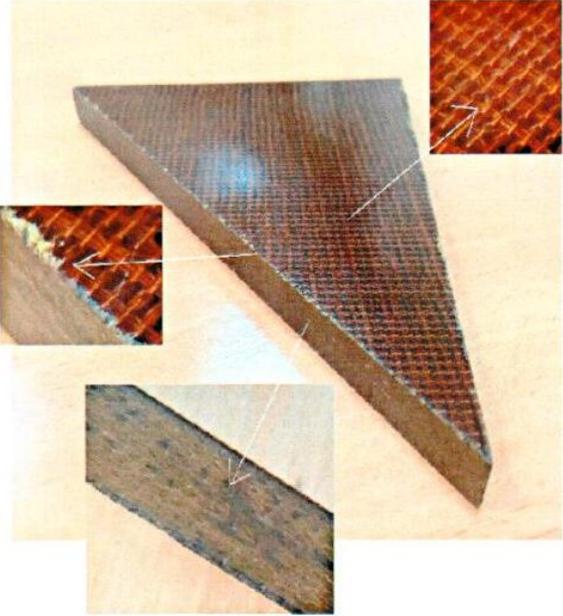
Газофазные методы (осаждения – напыления):

Матрица наносится на волокна из технологической среды растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и др.

К некоторым КМ понятие «матрица» и «арматура» не применимо. К таким материалам относятся слоистые КМ, состоящие из чередующихся слоев двух металлических сплавов, или псевдосплавов, имеющих каркасное строение, которые, в основном, получают пропиткой пористой заготовки более легкоплавким компонентом. Их структура представляет собой 2 взаимопроникающих непрерывных каркаса.

№	Эскиз	Описание	Классификационные признаки
1.	<p style="text-align: center;">Стеклопластик</p> 	<p>Образец цилиндрической формы, выполненный намоткой, с умеренно глянцевой поверхностью. Отчетливо видна лента, состоящая из нитей. С внутренней стороны имеет гладкую поверхность, с внешней – шершавую. Хрупкий.</p> <p>Размеры образца: Ширина – 30 мм Ширина ленты – 10 мм Толщина – 1.5 мм Диаметр – 104 мм</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) По природе компонентов-ПКМ 2) По виду армирующего наполнителя-<i>Волокнистый</i> 3) В зависимости от степени дискретности или непрерывности волокон, а так же их ориентации-<i>с непрерывными волокнами ориентированными под углом $\approx 55^\circ$</i> 4) По виду расположения армирующих компонентов-<i>ортотропный</i> 5) Классификация по формообразованию-<i>с матричной структурой</i> 6) Метод получения-<i>жидкофазный метод(мокрая намотка)</i>
2.		<p>Образец черного цвета; прямоугольной формы; твердый, легкий и прочный; гладкий; не имеет запаха; внешняя структура напоминает форму квадратной сетки; волокнистый; 3D армированный; Матрица и армирующий наполнитель – углерод.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) По природе компонентов-УУКМ 2) По виду армирующего наполнителя-<i>Волокнистый трехмерный КМ</i> 3) В зависимости от степени дискретности или непрерывности волокон, а так же их ориентации-<i>с непрерывными волокнами, ориентированными во многих направлениях</i> 4) По виду расположения армирующих компонентов-<i>Ортотропный</i> 5) Классификация по формообразованию-<i>С каркасной структурой</i> 6) Метод получения-<i>газофазное осаждение</i>

<p>3.</p>	<p style="text-align: center;">Стеклопластик</p> 	<p>Образец горчичного цвета, по ощущению похож на кость, шлифованная поверхность, форма цилиндрической гантели, матовый, внутри поверхности расположены дефекты (царапины)-не обработана, легкий, просвечивающий по середине, на поверхности и имеются полосы, в явном виде волокна не выделяются. Диаметр внешний=34мм Диаметр внутр.=30мм Длина=205мм</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) По природе компонентов-ПКМ 2) По виду армирующего наполнителя-<i>Волокнистый</i> 3) В зависимости от степени дискретности или непрерывности волокон, а так же их ориентации-<i>Слоистый</i> 4) По виду расположения армирующих компонентов-<i>Анизотропный</i> 5) Метод получения-<i>намотка (стеклопластиковой нити пропитанной эпоксидной смолой)</i>
<p>4.</p>		<p>Образец черного цвета, легкий (однонаправленная лента). Форма косточки, имеет основу и уток, не очень прочный (волокна трещат), гибкий при кручении, легкий, немного блестящая поверхность. Ширина=14мм Толщина=0,015мм Длина=180мм</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) По природе компонентов-УУКМ 2) По виду армирующего наполнителя-<i>Волокнистый</i> 3) В зависимости от степени дискретности или непрерывности волокон, а так же их ориентации-<i>с непрерывными волокнами ориентированными в двух направлениях</i> 4) По виду расположения армирующих компонентов-<i>Ортотропный</i> 5) Метод получения-<i>Намотка</i>

5.	<p style="text-align: center;">Текстолит</p> 	<p>Текстолит. В форме прямоугольного треугольника. Твердый, прочный слоистый материал. На срезе видны слои материи желтого и коричневого цвета. Без запаха. Не маркированный; имеет гладкую, глянцевую поверхность; явных дефектов не наблюдается. Образован несколькими слоями;</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) По природе компонентов-ПКМ 2) По виду армирующего наполнителя-<i>Волокнистый-слоистый</i> 3) В зависимости от степени дискретности или непрерывности волокон, а так же их ориентации-<i>С непрерывными волокнами, ориентированных в двух направлениях</i> 4) По виду расположения армирующих компонентов-<i>Ортотропный</i> 5) Классификация по формообразованию-<i>Со слоистой структурой</i> 6) Метод получения-<i>Выкладка. Получен методом горячего прессования хлопчатобумажных тканей, пропитанных термореактивным связующим на основе фенолформальдегидной смолы</i>
----	--	--	---

Вывод: В данной лабораторной работе был проведен визуальный осмотр 5 образцов КМ и были выделены их классификационные признаки.

По природе компонентов 3 образца относятся к полимерным композиционным материалам (образцы №1, №3, №5), а образцы №2, №4 являются углерод-углеродными КМ.

По виду армирующего наполнителя все образцы являются волокнистыми.

В зависимости от взаимного расположения армирующих компонентов образцы под №1, №2, №4, №5 являются ортотропными, а образец №3 – анизотропный.

Образцы №1, №3, №4 получены методом намотки. Образец под №2 - методом газозаполнения, а для образца №5 характерен метод выкладки.

В соответствии с классификацией волокнистых КМ: Образцы №2, №4 и №5 - с непрерывными волокнами, ориентированными во многих направлениях, №1 - с непрерывными волокнами ориентированными под углом $\approx 55^\circ$, №3 – слоистый.

Перечень тем практических занятий

1. Расчет теоретической плотности однонаправленного стеклопластика.
2. Оптимизация объемной доли наполнителя в волокнистых композитах.
3. Расчет зоны межфазного взаимодействия при использовании жидкофазных методов формования композитов на металлической матрице.
4. Расчет скорости пропитки волокнистых армирующих систем.
5. Расчет изменения скорости и начального усилия при намотке.
6. Расчет времени жизнеспособности полимерных связующих.
7. Расчет оптимальных режимов термообработки для полимеризации полимерных композиционных материалов.
8. Расчет скорости движения датчика обратной связи при формировании углеродной матрицы методом пиролитического осаждения

Пример выполнения практического задания «Расчет скорости пропитки волокнистых армирующих систем»

Цель работы

Ознакомление с методологией расчета технологических характеристик, в данном случае скорости пропитки тканых волокнистых армирующих систем, при реализации одного из передовых технологических методов формования ПКМ, в данном случае метода RTM.

Объект исследования

Метод формования волокнистых полимерных композиционных материалов RTM (Resin Transfer Moulding). Способы расчета технологических характеристик метода формования на основе структурных характеристик и эмпирических зависимостей для тканых волокнистых ПКМ.

Расчеты проводить на основе алгоритма метода пропитки RTM.

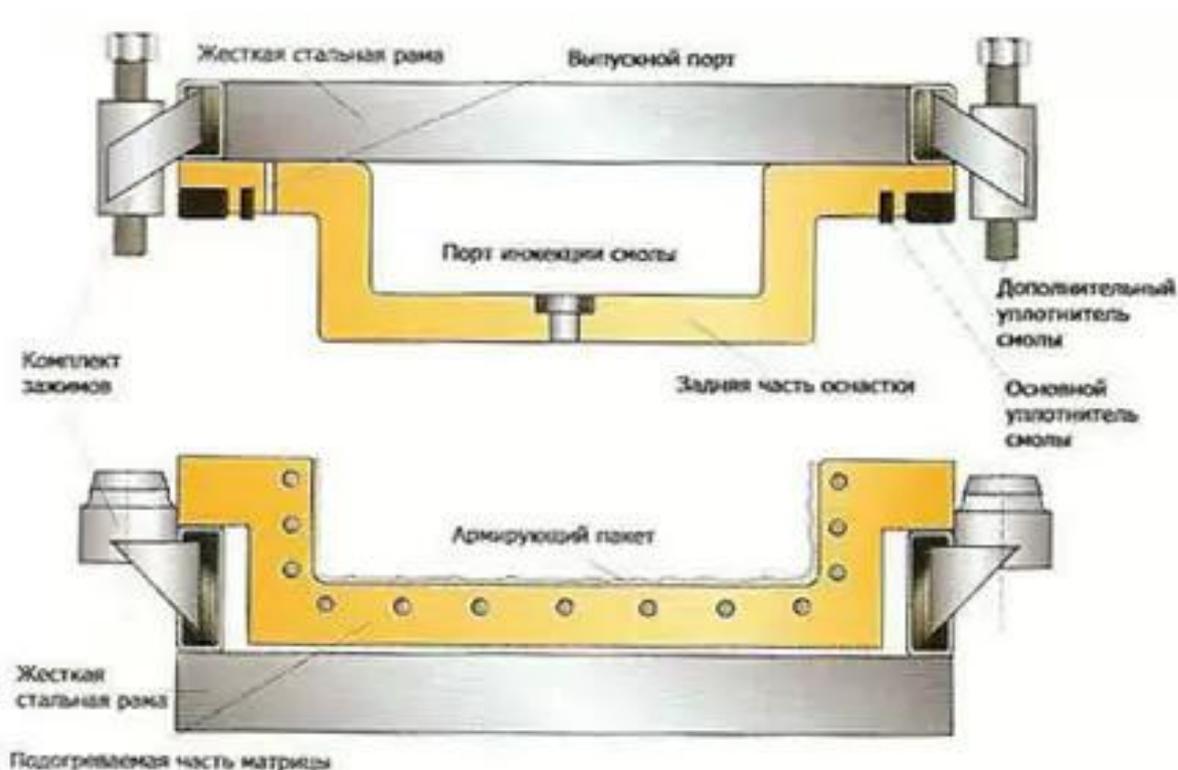
Метод RTM (Resin Transfer Moulding)

Процесс пропитки и формования композиционных материалов под давлением, когда связующее инжектируется в закрытую матрицу, которая содержит наполнители или преформы.

В качестве такого армирующего материала могут выступать разнообразные ткани различного переплетения, в том числе мультиаксиальные, эмульсионные и порошковые стекломаты. В качестве связующего применяют смолу, время гелеобразования которой — 50–120 мин, с низкой динамической вязкостью. Вязкость и время гелеобразования смолы определяют по ГОСТ 28593-90.

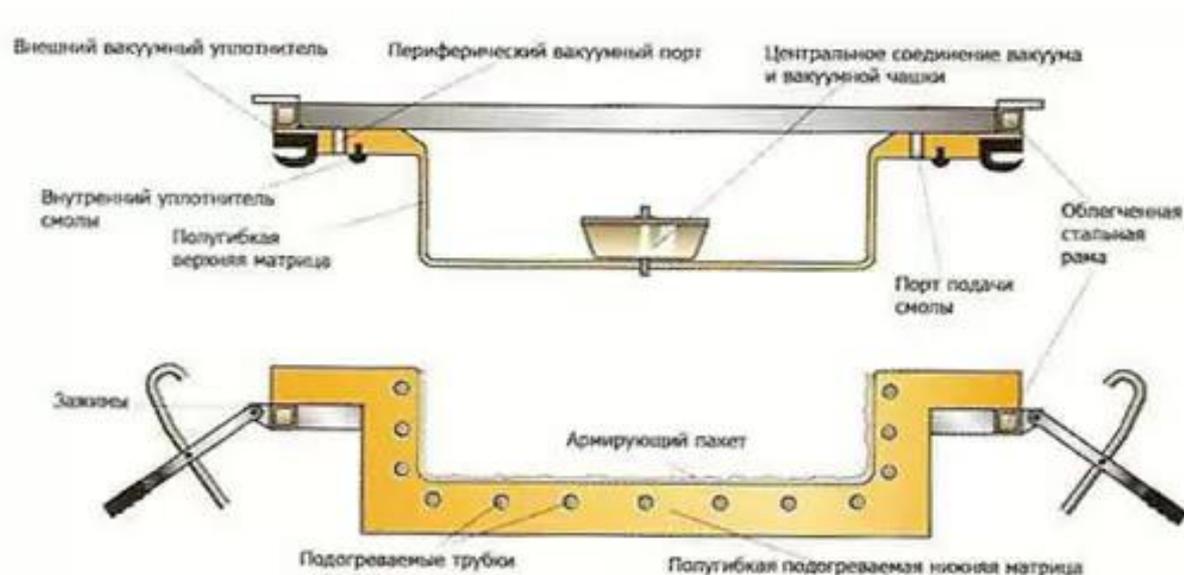
RTM-classic

Идеально подходит для стандартных объемов-500-10000 изделий в год. Конструкция матрицы из композиционной или стальных форм повторяющие с двух сторон внешние обводы детали, обладающие высокотемпературными характеристиками и удерживаемые точным совмещением закрытых стальных рам, которые поддерживаются в местах зажимов.



RTM-Light

Идеальна для производства для матриц 0.2м^2 до 100м^2 . Конструкция матрицы из композиционной или стальных форм. Контр матрица состоит из более легкой, гибкой конструкции. Две половинки матрицы соединяются вместе под воздействием вакуума.



Преимущества технологии RTM:

- Позволяет автоматизировать производство, что уменьшает случайный характер вмешательства человека
- Сокращает и контролирует количество используемого сырья
- Снижает влияние материала на экологию
- Улучшает условия труда
- Позволяет создавать относительно прочные изделия, за счет лучшей пропитки
- Относительно дешевое оборудование

Структурные характеристики, для определенности, взять из таблиц 3.2 (Тканые конструкционные композиты: Пре. с англ./ Под ред. Т.-В. Чу и Ф. Ко. –М.: Мир, 1991. - 432 с.)

Таблица 3.2. Структурные параметры гладкого уточно-вязанного материала (использовались для расчета характеристик при растяжении для случаев нагружения, указанных на рис. 3.49)

Волокно	Нить	Номер пряжи, текс	Число волокон N	Диаметр волокна, мкм	Погонная масса ткани, г/см ²	Плотность петель, см ⁻¹	
						колонка петель	ряд петель
Шерсть	2/48	41,7	69	24,18	0,01618	8,3	11,1

Структурные параметры

Длина структурного элемента, см		Длина нити в структурном элементе L , см	Диаметр нити D_c , см
U_{01}	U_{02}		
0,0877	0,0602	0,2105	0,02157

Расчет производить согласно приведенной блок-схеме с учетом структурных характеристик и указанных зависимостей:

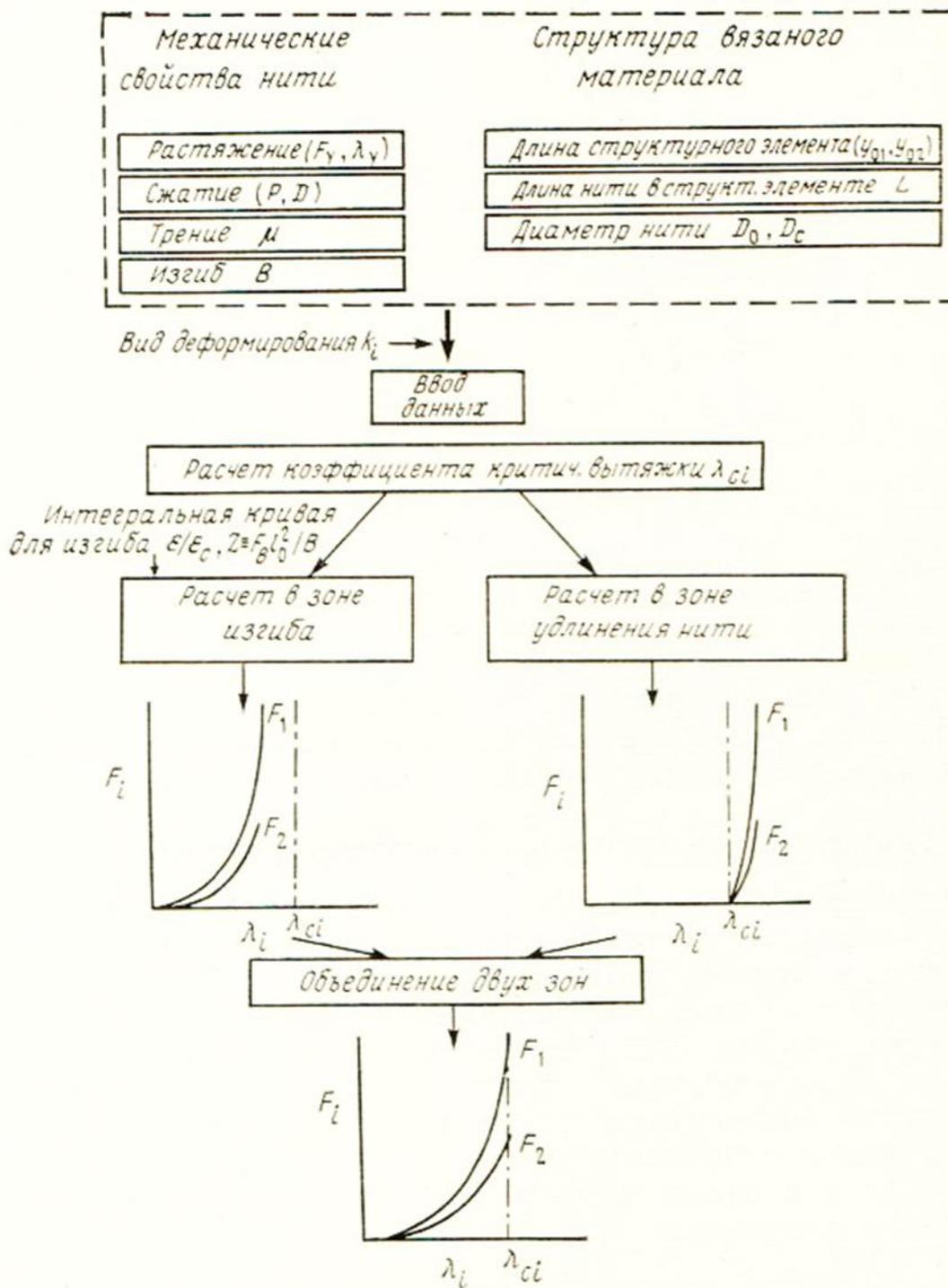


Рис. 3.50. Блок-схема алгоритма для расчета характеристик вязаного материала при растяжении.

5. Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных компетенций

Дифференцированный зачёт.

К дифференцированному зачёту допускаются студенты, выполнившие все лабораторные работы, имеющие положительные результаты промежуточных контрольных работ.

Оценка выставляется с учётом результатов промежуточного контроля. Дифференцированный зачёт по дисциплине проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса.

Примерный перечень вопросов к экзамену по курсу

1. Композиционные материалы – общая характеристика, состав и классификация КМ.
2. Характеристика конструкционных КМ.
3. Характеристика функциональных (защитных, специальных и т.д.) КМ.
4. Общая характеристика компонентов КМ.
5. Основные технико-эксплуатационные требования, предъявляемые к компонентам КМ.
6. Общая характеристика матриц, применяемых в КМ.
7. Общая характеристика полимерных матриц.
8. Термопластичные полимеры и их технологические особенности.
9. Термореактивные полимеры (олигомеры) и технологические особенности их переработки.
10. Технологические особенности полимерных связующих.
11. Термостойкие полимерные матрицы.
12. Волокнистые наполнители конструкционных КМ. Методы получения, типы, особенности и свойства армирующих стекловолокон.
13. Волокнистые наполнители конструкционных КМ. Высокосиликатные и кварцевые волокна. Виды армирующих элементов. Стекловолоконные ровинги и пряжа. Стекловолоконные маты.
14. Виды армирующих элементов. Ткани и объемно-ориентированные волокнистые армирующие системы.
15. Волокна используемые для армирования металлокомпозитов. Металлическая проволока. Нитевидные кристаллы – усы.
16. Волокна используемые для армирования металлокомпозитов. Вольфрамовая, молибденовая и бериллиевая проволоки. Волокна бора, карбида кремния и борсика.
17. Общая характеристика углеродных волокон. Углеродные волокна из ПАН. Углеродные волокна из пеков. Углеродные волокна из ГТЦ.
18. Особенности свойств углеграфитовых материалов. Общая характеристика углеродных матриц. Классификация углеродных матриц.
19. Коксовая матрица. Основной принцип формирования углерод-коксовой матрицы. Характеристика и требования, предъявляемые к углеродсодержащим исходным веществам. Общая характеристика завершающих этапов образования углерод-коксовых матриц (карбонизация и графитация). Особенности завершающих этапов образования углерод-коксовых УМ (влияние принципа Ле-Шателье – Брауна, крипп)

20. Коксовая матрица. Реакции термохимической обработки полимерных смол.
21. Коксовая матрица. Общая характеристика пеков – как исходного углеродсодержащего сырья. Особенности мезофазных пеков.
22. Пироуглеродная матрица. Общая характеристика и базовые определения глубокой термической обработки углеводородов в газовой фазе. Технологические и структурные особенности пироуглерода.
23. Установка для газофазного осаждения пироуглерода.
24. Особенности комбинированных матриц при формировании и уплотнении УУКМ.
25. Общая характеристика модифицированных углеродных матриц. Боросодержащие модифицированные углеродные матрицы. Силицированные и боросилицированные модифицированные углеродные матрицы.
26. Общая характеристика и классификация методов получения композитов на металлической матрице.
27. Твердофазные методы получения МКМ.
28. Жидкофазные методы получения МКМ.
29. Получение МКМ методами осаждения.
30. Особенности межфазного взаимодействия.

Билеты на экзамене

Кафедра МКМК

Дисциплина Перспективные материалы и технологии

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Композиционные материалы: общая характеристика. Критика «классического» определения КМ.
2. Общая характеристика матриц, применяемых в КМ.

Кафедра МКМК

Дисциплина Перспективные материалы и технологии

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Композиционные материалы: состав и основные определения.
2. Полимерные матрицы. Общая характеристика, классификация полимерных матриц по составу.

Список литературы

1. Полимерные композиционные материалы : учебное пособие / А. Н. Бобрышев, В. Т. Ерофеев, В. Н. Козомазов ; Ассоциация строительных вузов .— Москва : Изд-во АСВ, 2013 .— 474 с.
2. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.] .— Долгопрудный : Интеллект, 2010 .— 347 с.
3. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин .— Санкт-Петербург : Науч. основы и технологии, 2009 .— 658 с.
4. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин .— СПб : Науч. основы и технологии, 2008 .— 820 с.
5. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике / Ю. А. Михайлин .— Санкт-Петербург : Науч. основы и технологии, 2013 .— 715 с.
6. Композиционные материалы: строение, получение, применение : учебное пособие / А.А. Батаев, В.А. Батаев .— М. : Логос, 2006 .— 398 с.
7. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие для вузов / М. Л. Кербер [и др.] ; Под ред. А. А. Берлина .— Санкт-Петербург : Профессия, 2008 .— 557 с.
8. Технология композиционных материалов : учебное пособие / А. М. Вотинов ; Пермский государственный технический университет .— Пермь : Изд-во ПГТУ, 1998 .— 138 с.
9. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Ю.В. Соколкин [и др.] .— М. : Наука : Физматлит, 1996 .— 239 с.
10. Углеродные волокна и углекомполиты : пер. с англ. / Э. Фитцер [и др.] .— Москва : Мир, 1988 .— 336 с.
11. Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.] ; Под ред. В. В. Васильева .— Москва : Машиностроение, 1990 .— 510 с.
12. Волокнистые композиционные материалы на основе титана / В.Н. Анциферов [и др.] ; Академия наук СССР, Уральское отделение ; Институт механики сплошных сред ; Под ред. А.А. Поздеева .— Москва : Наука, 1990 .— 136 с.