

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>6</b>
<b>ГЛАВА 1. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Классификация строительных материалов .....	7
1.2. Предложение по классификации строительных материалов .....	9
1.3. Кратко о свойствах и недостатках композиций на основе неорганических композиционных полимерных строительных материалов .....	15
1.4. Кратко о свойствах и недостатках органических композиционных полимерных строительных материалов .....	23
1.5. О классификации добавок, улучшающих свойства строительных материалов .....	29
<b>ГЛАВА 2. О МОДИФИКАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КЛАССАХ МОДИФИКАТОРОВ И МЕХАНИЗМАХ ИХ ДЕЙСТВИЯ НА КОМПОЗИЦИИ.....</b>	<b>31</b>
2.1. Микроразмерные модификаторы и механизм их действия при модификации полимерных композиций .....	31
2.2. Различия между микроразмерными и наноразмерными модификаторами.....	34
2.3. О механизме процессов модификации композиционных полимерных материалов сверхмалыми количествами металл углеродных мезокомпозитов.....	38
2.4. О механизме действия наноструктур и мезочастиц на полимерные неорганические строительные материалы и правилах подбора мезочастиц для эффективного процесса улучшения характеристик материалов .....	42
<b>ГЛАВА 3. О КЛАССАХ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ, ВАРИАНТЫ ИХ ПОДБОРА ДЛЯ КОМПОЗИЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>44</b>
3.1. Краткая информация о классах наноразмерных модификаторов .....	44
3.2. Наноразмерные неорганические элементы содержащие модификаторы. Активные минеральные добавки .....	44
3.3. Наноразмерные углеродные и органические модификаторы .....	53

3.4. О механизме действия наноструктур и мезочастиц на полимерные неорганические строительные материалы и правилах подбора мезочастиц для эффективного процесса улучшения характеристик материалов .....	62
3.5. Сведения о металлах углеродных мезокомпозитах .....	63
<b>ГЛАВА 4. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ К ПРОЦЕССУ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>68</b>
4.1. Тонкодисперсные суспензии. Методы получения .....	68
4.2. О взаимовлиянии жидких сред и наноструктур (мезокомпозитов) .....	69
4.3. О подборе жидких сред для наноразмерного модификатора .....	74
<b>ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ С МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ НА ПРИМЕРЕ НАНОСТРУКТУР ПРОИЗВОДСТВА КОРПОРАЦИИ ARKEMA .....</b>	<b>82</b>
5.1. Характеристики и свойства многослойных углеродных нанотрубок производства корпорации Arkema .....	83
5.2. Получение водной суспензии МУНТ при помощи гидродинамической кавитации .....	85
5.2.1. Дисперсия МУНТ серии Graphistrength™ C-100 .....	86
5.2.2. Суспензия МУНТ серии Masterbatch CW2-45 .....	88
5.3. Получение водной суспензии многостенных углеродных нанотрубок методом ультразвуковой диспергации .....	90
5.3.1. Дисперсия МУНТ серии Graphistrength™ C-100 .....	90
5.3.2. Суспензия МУНТ серии Masterbatch CW2-45 .....	92
5.4. Получение водной суспензии МУНТ при помощи высокоскоростного гомогенизатора погружного типа .....	94
5.5. Получение водной суспензии МУНТ нанотрубок при помощи высокоскоростной бисерной мельницы .....	96
5.5.1. Суспензия МУНТ серии Graphistrength™ C-100 .....	97
5.5.2. Суспензия МУНТ серии Masterbatch CW2-45 .....	98
5.6. Подбор оптимальных режимов обработки суспензий многослойных углеродных нанотрубок .....	100
<b>ГЛАВА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ СУСПЕНЗИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (МУНТ) ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ .....</b>	<b>105</b>
6.1. ИК-спектральный анализ суспензий .....	105
6.2. Дифференциально-термический анализ суспензий .....	108
6.3. Исследование суспензий с помощью электронной микроскопии .....	108
6.4. Физико-химические, физико-механические исследования структуры и свойств цементной матрицы, модифицированной суспензией углеродных нанотрубок (МУНТ) .....	109

6.4.1. Анализ микроструктуры контрольных и модифицированных образцов бетона .....	110
6.4.2. Физико-химические исследования контрольных и модифицированных образцов бетона .....	113
6.4.3. Определение физико-технических характеристик модифицированного цементного бетона .....	116
6.4.3.1. Влияние модифицирующей супензии на трещиностойкость цементной композиции.....	116
6.4.3.2. Определение водонепроницаемости цементного бетона, модифицированного многослойными углеродными нанотрубками.....	123
<b>ГЛАВА 7. ПРИМЕРЫ МОДИФИКАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>125</b>
7.1. Модификация строительных неорганических (цементных) материалов .....	125
7.1.1. «Нанодисперсное» армирование пенобетона .....	126
7.1.2. Нанодисперсное армирование силикатных ячеистых бетонов автоклавного твердения.....	128
7.1.3. Модифицированные гипсобетоны .....	135
7.2. Модификация строительных органических материалов, в том числе получение огнезащитных и антикоррозионных покрытий.....	145
7.2.1. Примеры модифицированных наноразмерными частицами и мезокомпозитами покрытий для металлических конструкций .....	147
7.2.2. Антикоррозионное и термозащитное покрытие для стальных изделий, предназначенных для бурения при производстве фундаментов .....	151
<b>ГЛАВА 8. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ СУСПЕНЗИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (МУНТ) .....</b>	<b>156</b>
8.1. Разработка технологической схемы введения водной дисперсии многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) в состав бетонной смеси .....	156
8.2. Опытно-промышленное внедрение технологии модификации бетона углеродными нанотрубками .....	158
8.3. Влияние многослойных углеродных нанотрубок на свойства строительной керамики .....	162
8.4. Силикатные фасадные краски для защиты от техногенных электромагнитных излучений.....	176
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>184</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Прежде нужно дать расшифровку слов, отражающих понятия «технология» и «наноструктурированные материалы». Наука, отражающая смысл слов, называется «семантика», а смысл знаков — «семиотика». Семантика и семиотика лежат в основе «кибернетики».

Слово «технология» состоит из двух корней: «техно (*гр. techne*) — искусство, ремесло, наука» и «логия (*гр. logos*) — понятие, учение». Технология представляет собой совокупность знаний о способах и средствах проведения производственных процессов. Поэтому речь пойдет не только о способах проведения процессов модификации наноразмерными частицами различных строительных материалов, но и о применяемом при этом оборудовании и приборном оснащении, регулирующих качество проведения процесса и качество получаемой продукции.

Все виды строительных материалов выпускают в соответствии с ГОСТами. Кроме того в строительстве действуют «Строительные нормы и правила (СНиП)», представляющие собой объединенные нормативные документы по проектированию, строительству и строительным материалам. Все строительные материалы классифицируют по назначению, виду материала и способу его получения.

Классификация по назначению:

1) конструкционные, 2) отделочные, 3) гидроизоляционные, 4) теплоизоляционные, 5) акустические (звукозащитные), 6) анткоррозионные, 7) огнезащитные, 8) герметизирующие.

По виду материала и способу получения материалы делят на природные и искусственные материалы. Состав и свойства природных материалов, например, глин, песков, гранитных плиток и т. п. материалов, зависят от происхождения исходных пород и способа их переработки (чаще механической). Искусственные строительные материалы изготавливают из природного минерального и органического сырья, промышленных отходов, а также из бетона, железобетона и синтетических пластиков, текстолитов, резин и т. п. материалов.

Все строительные материалы нуждаются в улучшении их долговечности за счет модификации, включая эффективную модификацию с помощью наноструктур и мезоскопических композитов (частиц).

# ГЛАВА 1

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

### 1.1. Классификация строительных материалов

Строительные материалы и изделия классифицируют по происхождению, назначению и технологическому признаку.

**1. По происхождению** строительные материалы подразделяют на классы:

– *природные материалы* — древесина, горные породы (природные камни), природные битумы и асфальты и др. Их получают из природного сырья путем несложной обработки без изменения первоначального строения и химического состава;

– к *искусственным* материалам относят кирпич, цемент, железобетон, стекло и т. д. Их получают из природного и искусственного сырья, побочных продуктов промышленности и сельского хозяйства с помощью специальных технологий.

Искусственные материалы отличаются от исходного сырья как по строению, так и по химическому составу, что обусловлено коренной его переработкой в заводских условиях.

– *отделочные* материалы применяют для улучшения декоративных качеств конструкций, а также защиты конструкционных, теплоизоляционных и других материалов от внешних воздействий;

– *материалы специального назначения* (огнеупорные или кислотоупорные) применяются при возведении специальных сооружений, защиты от пожаров и коррозии.

Ряд материалов (например, цемент, известь, древесина) нельзя отнести к какой-либо одной группе, так как их используют и в чистом виде, и как сырье для получения других строительных материалов и изделий. Это так называемые материалы общего назначения.

**2. По назначению** строительные материалы подразделяют на следующие группы:

– *конструкционные материалы* — это материалы, которые воспринимают и передают нагрузки в строительных конструкциях;

– *теплоизоляционные материалы*, основное назначение которых свести к минимуму теплопотери через строительную конструкцию, обеспечить необходимый тепловой режим в помещении при минимальных затратах энергии;

– *акустические* (звукопоглощающие или звукоизоляционные) материалы применяют для снижения уровня «шумового загрязнения» помещения;

– *гидроизоляционные и кровельные* — для создания водонепроницаемых слоев на кровлях, подземных сооружениях и других конструкциях, которые необходимо защищать от воздействия воды и водяных паров;

– *герметизирующие материалы* используют для герметизации стыков в сборных конструкциях.

**3. По технологическому признаку** (на основании вида сырья и способа изготовления) материалы подразделяют на следующие группы:

– *природные каменные материалы и изделия*, получаемые из горных пород путем их механической обработки. К таким материалам относят: стеновые блоки и камни, облицовочные плиты, детали архитектурного назначения, бутовый камень для фундаментов, щебень, гравий, песок и т. п.;

– *керамические материалы и изделия*, получаемые из глины с добавками путем формования, сушки и обжига (к таким материалам относят камни, кирпич, керамические блоки, черепицу, трубы, изделия из фаянса и фарфора, керамзит (искусственный гравий для легких бетонов), плитки облицовочные и для настила полов и др.);

– *стекло и другие материалы и изделия из минеральных расплавов* (оконное и облицовочное стекло, стеклоблоки, стеклопрофилит, плитки, трубы, изделия из ситаллов и шлакоситаллов, каменное литье);

– *неорганические вяжущие вещества* — это минеральные материалы, обычно порошкообразные, образующие при смешивании с водой пластичное тело, со временем или при росте температуры приобретающее камневидное состояние (цементы различных видов, известь, гипсовые вяжущие вещества и др.);

– *бетоны* — искусственные каменные материалы, получаемые из смеси вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей (бетон со стальной арматурой называют железобетоном, он хорошо сопротивляется не только сжатию, но и изгибу и растяжению);

– *строительные растворы* — это искусственные материалы, состоящие из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя, которые со временем переходят из тестообразного состояния в «камневидное»;

– *искусственные необжиговые каменные материалы*, получаемые на основе неорганических вяжущих веществ и различных заполнителей (силикатный кирпич, силикатные бетоны, гипсовые и гипсобетонные изделия, асбестоцементные изделия и конструкции);

– *органические вяжущие вещества и материалы на их основе* — битумные и дегтевые вяжущие, кровельные и гидроизоляционные материалы (рубероид, пергамин, изол, бризол, гидроизол, толь, приклеивающие мастики, асфальтовые бетоны и растворы);

– *полимерные материалы и изделия*, получаемые на основе синтетических полимеров (термопластических и термореактивных смол); к ним относят такие материалы, как линолеумы, релин, синтетические ковровые материалы, плитки, древеснослойистые пластики, стеклопластики, пенопласти, поропласти, сотовые пластины и др.;

– *древесные материалы и изделия из них*, которые получают в результате механической обработки древесины (круглый лес, пиломатериалы, заготовки для различных столярных изделий, паркет, фанера, плинтусы, поручни, дверные и оконные блоки, kleеные конструкции).

**4. По степени готовности** различают собственно строительные материалы и строительные изделия: готовые изделия, а также элементы, монтируемые и закрепляемые на месте работы.

## **1.2. Предложение по классификации строительных материалов**

Строительные материалы в общем случае можно отнести к композиционным неорганическим и органическим полимерным материалам.

*Композиционный полимерный материал представляет собой многофазный и многокомпонентный материал, образованный из композиции, отверждаемой при получении материала и изделия (конструкции) одновременно и содержащей неорганические и органические полимерные вещества с преобладанием одного из компонентов, например, минеральных или металлических наполнителей, что дает возможность получить уникальные свойства материала.*

Исходя из такого определения, представляется целесообразным разделить строительные материалы на композиционные полимерные неорганические (КПНМ) и композиционные полимерные органические (КПОМ) материалы.

При этом для неорганических строительных материалов следует ввести понятие «вяжущих», а для органических строительных материалов — «связующих» материалов.

«Вяжущими» в неорганических полимерных строительных материалах являются неорганические полимеры, относящиеся к классам полимерных силикатов или полиалюмосиликатов, встречающихся в природе, как глины, пески, или прошедшие предварительную обработку цементы и бетоны.

«Связующие» в органических полимерных строительных материалах представляют собой полимерные органические вещества (смолы, имеющие группы, активные в реакциях «сшивания»). Среди «связующих» известны эпоксидные и фенолформальдегидные смолы, полиамиды, полиорганосилоксаны и другие органические и элементоорганические полимерные вещества.

В большинстве композиционных полимерных материалов (КПМ) значительную роль играют наполнители и адгезия «связующих» или «вяжущих» (полимерных веществ) к наполнителю. Обычно введение наполнителей в КПМ приводит к росту модуля упругости материалов.

*Важнейшими факторами, определяющими увеличение модуля упругости, являются: содержание наполнителя, форма его частиц и характер их распределения (упаковки) в материале, природа наполнителя и соотношение модулей упругости компонентов.*

На модуль упругости КПМ наибольшее влияние оказывают межфазные взаимодействия между компонентами.

Деление композиционных полимерных материалов проводят по ряду признаков, из которых наиболее значимыми являются функциональное назначение материала и природа наполнителя.

**Классификация КПМ может преследовать следующие цели.**

**1. Определение классов материалов, обладающих сходными признаками по природе материала, его функциональному значению, составу и структуре, что предполагает сходство основных свойств.**

**2. Определение признаков, по которым можно не только провести деление материалов на классы, но и спрогнозировать их поведение в условиях эксплуатации и при экстремальных нагрузках.**

Достижение первой цели определяет традиционный подход к классификации веществ и материалов.

При этом назначение материала зачастую предопределяет его природу. Например, для конструкционных материалов предпочтительны армированные высоконаполненные пластики, а для теплозащитных материалов применяют нередко пенопласти, т. е. материалы, содержащие замкнутые поры. Из-за разнообразия наполнителей, полимерных матриц и добавок осуществить деление полимерных композитов по составу и структуре сложно. Поэтому наиболее рациональным предоставляется деление полимерных композитов по природе наполнителя: металлические (металлопластики), минеральные (стекло-, боро- и углепластики), органические полимерные материалы (органопластики).

Классификация композиционных полимерных материалов проводится по форме частиц наполнителя:

- волокна, металлические проволоки, стержни («бесконечные», длинные, короткие);
- ткани, сетки;
- порошки разной дисперсности;
- шарики, стержни, полые сферы или трубы;
- ленты, фольга и др.

Материалы делят по степени наполнения: малонаполненные, средненаполненные, высоконаполненные.

Армированные пластики содержат обычно от 60 до 80 объемных процентов наполнителя. Полимерные материалы с высоким наполнением порошкообразными частицами называют норпластами. Если наполнитель имеет или образует переплетения, то степень наполнения обычно не превышает 50 объемных процентов.

Следующий уровень классификации связан с расположением фаз в материале (по его объему). Возможны следующие варианты: 1) статистическое, 2) регулярное расположение фаз, 3) преимущественно поверхностное расположение более плотной фазы, 4) преимущественно поверхностное расположение менее плотной фазы и 5) промежуточные между ними расположения фаз или фазовых зон, отличающихся по плотности.

В слоистых материалах, материалах с ориентированным расположением наполнителя проявляется анизотропия свойств. В зависимости от расположения в объеме материала, природы (состава и форм) наполнителя и степени наполнения меняются существенно свойства материала и возможности его применения в конструкциях.

При делении композиционных полимерных материалов целесообразно учесть полимерные системы, которые имеют существенное значение, особенно

в мало- и средненаполненных материалах, где преобладают явления структурирования полимерной матрицы и адгезионные явления.

Следующий уровень классификации — традиционная классификация полимеров по функциональным группам.

Для достижения второй цели можно выделить четыре классификационных признака и пять параметров, на основе которых можно определить классы композиционных полимерных материалов.

Классификационные признаки: 1) количество компонентов и фаз, 2) содержание отдельной фазы или отдельного компонента, 3) распределение фаз по объему материала, 4) природа фаз.

Последний признак предлагается определить пятью параметрами: плотностью ( $d$  или  $\rho$ ), теплоемкостью ( $C_p$ ), теплопроводностью ( $\lambda$ ) и дополнительными — твердостью ( $H$ ) и модулем упругости ( $E$ ).

Для обеспечения изменений соответствующих параметров в материале при «движении» от границы поверхности (газ — твердое тело) вглубь материала предлагаются плоские или пространственные картины в координатах «свойство — линейный размер».

Здесь учитывается характер формирования межфазных слоев. Для них возможно два крайних случая: 1) образование связей на границе раздела фаз, 2) создание в межфазной области лабильного слоя за счет выхода на границу раздела фаз примесных химических частиц. В первом случае образуется плотный межфазный слой, во втором — неплотный межфазный слой.

На рисунке 1.1 приведено изменение плотности материала при движении вглубь материала без учета ( $a$ ) и с учетом ( $b$ ) микротрещин и пор.

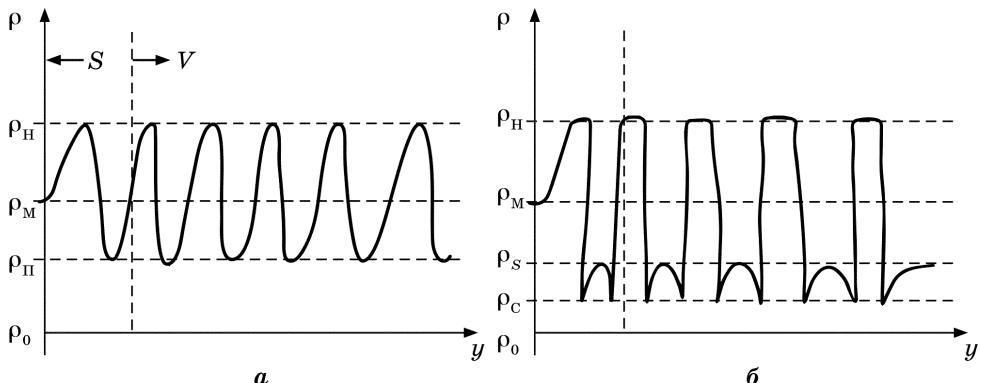


Рис. 1.1

Статистическое распределение порошка наполнителя ( $\rho = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) в полимерной матрице ( $\rho = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) с образованием «плотных» ( $a$ ) и «неплотных» ( $b$ ) межфазных слоев:

$V$  — объемный слой;  $S$  — поверхностный слой;  $\rho_c$  — плотность межфазного слоя;  $\rho_m$  — плотность материала;  $\rho_p$  — плотность полимера;  $\rho_h$  — плотность наполнителя;  $\rho_0$  —  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

В случае а) адгезия связующего к частицам порошка достаточно велика за счет образования химических связей между активными центрами поверхности порошинок и функциональными группами полимера. В случае б) на границе

раздела фаз накапливаются низкомолекулярные с малой плотностью вещества, а химические связи полимерной фазы с наполнителем не образуются. В данном случае происходит разделение фазы наполнителя и полимерной фазы, тогда между ними образуется слой примесей с меньшей плотностью.

При разделении фаз: частицы наполнителя в большей степени концентрируются в поверхностном слое (*а*), или, наоборот, ближе к центру образца (*б*). Изменение плотности будет выглядеть иначе, чем на предыдущем рисунке (рис. 1.2*а*, *б*).

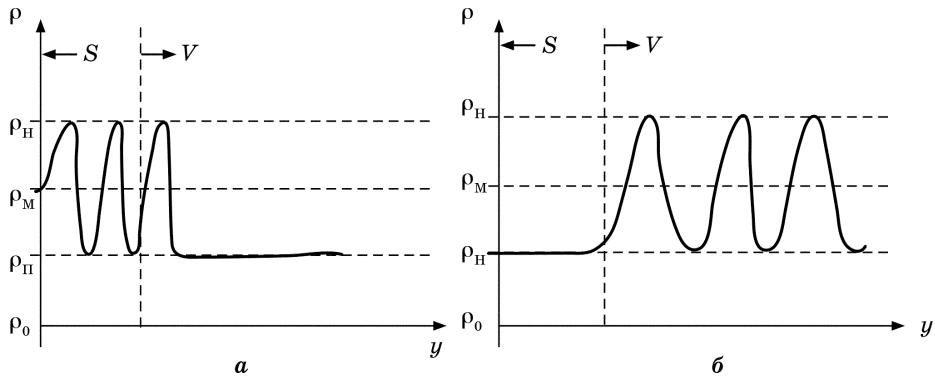


Рис. 1.2

Изменение плотности в композиционных полимерных материалах (КПМ) при преимущественном расположении порошка наполнителя в поверхностном слое *С* (*а*) или при расположении порошка наполнителя в объемном слое *В* (*б*)

При изменении формы частицы наполнителя, например, применении иглок, изменение плотности по толщине материала определяется не только содержанием и распределением наполнителя в материале, но и ориентацией их в образце. Если размеры игл близки между собой, то при их ориентации по направлению координаты *у* получим изменение плотности как на рисунке 1.3*а*, а при расположении игл перпендикулярно у картине изменения плотности меняется (рис. 1.3*б*).

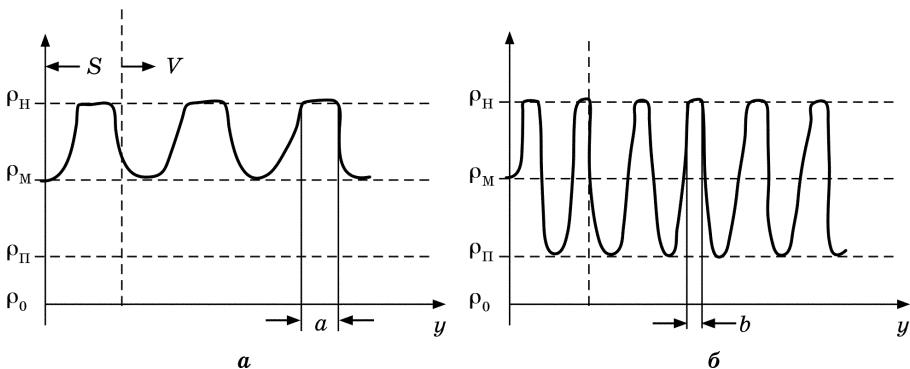


Рис. 1.3

Изменение плотности в КПМ при изменении ориентации наполнителя (частицы в форме игл) по направлению *у* (*а*) и перпендикулярно этому направлению (*б*). Примечание: *a* — длины игл; *b* — диаметр игл.

При переплетении нитей, использовании тканей или сеток образовавшиеся узлы обладают большей плотностью по сравнению с плотностью той же фазы рядом с узлом (рис. 1.4a). Если КПМ заполнен полыми сферами, то при наличии сфер близких размеров в картине изменения плотности будут наблюдаться провалы, ниже  $\rho_0$  (рис. 1.4б).

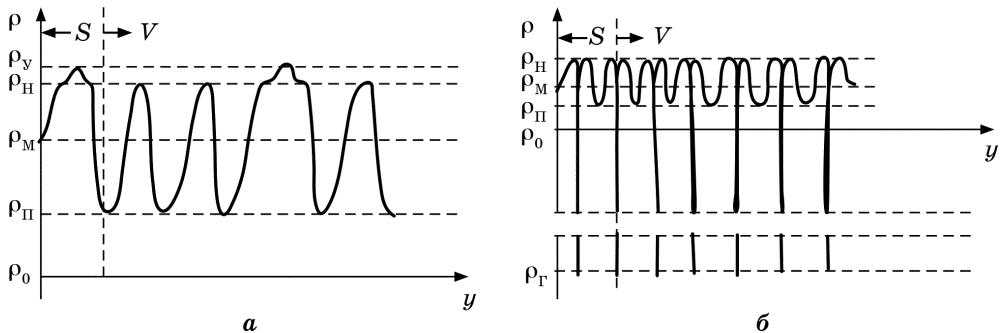


Рис. 1.4

Изменение плотности КПМ, наполненных сеткой (a)

и равномерно распределенными стеклянными сферами (б). Пояснение:

$\rho_y$  — плотность узлов сетки;  $\rho_g$  — плотность газа в сфере.

На прочность полимерных композитов или композиционных полимерных материалов решающее влияние оказывает межфазная граница раздела и в первую очередь прочность сцепления наполнителя с полимерным связующим.

*Под межфазной границей в полимерных композитах понимается не только геометрическая поверхность раздела между наполнителем и связующим, но и прилегающие к ней области, на которые простирается влияние физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии наполнителя или минеральных добавок и полимерной матрицы (связующего) на стадиях формирования композита и его эксплуатации.*

На формирование и состояние межфазной границы раздела оказывает влияние физико-химическая и термомеханическая совместимость компонентов, образующих композит.

Физико-химическая совместимость определяет полноту контакта, природу, количество и прочность физических и химических связей, возникающих при взаимодействии матрицы с поверхностью частиц наполнителя или непрерывных волокон. Это явление оказывает влияние на формирование структуры, изменение состава и свойств матрицы и наполнителя в пограничных слоях за счет взаимной диффузии, избирательной сорбции, каталитического влияния на процесс отверждения полимерных вяжущего или связующего.

Термомеханическая совместимость определяет взаимное соответствие компонентов композитов, обеспечивающее их монолитность (сплошность) в процессе получения и эксплуатации (нагрева, набухания, нагружения и т. п.) и степень напряженности в этих условиях границы раздела и компонентов, обусловленной различием в их деформационных свойствах (изменении объема и линейных размеров).

Межфазное взаимодействие в композиционном материале является результатом химических реакций между функциональными группами, расположенными на поверхности наполнителя и связующего, а также результатом физического взаимодействия этих групп при сорбции, ориентации молекул или участков цепей связующего и механического закрепления их на поверхности путем заполнения пор и трещин. Площадь поверхности взаимодействия между компонентами в композите, приходящаяся на единицу его объема, зависит от степени наполнения частицами наполнителя и/или добавок, их геометрических размеров, удельной поверхности, а также площади контакта между поверхностью наполнителя и матрицей.

Взаимодействие связующего (вяжущего) с поверхностью наполнителя начинается на стадии получения композита, со смачивания, о полноте которого можно судить по разнице между поверхностной энергией наполнителя и вяжущего или связующего. Хорошее смачивание предопределяет высокую адгезию, обусловленную силами химического и физического взаимодействия на границе контакта двух фаз.

Особое место среди материалов занимают газонаполненные материалы: пенопласти и поропласти. Изменение их свойств по толщине материала может быть представлено аналогично приведенным примерам в координатах «свойство — толщина образца материала». Ниже приведены схемы таких примеров для пенопласта при статистическом распределении пузырьков газа (а) и для интегрального пенопласта (б). Изменение плотности пенопласта со статистически распределенными пузырьками отличается от аналогичного изменения плотности по направлению  $y$  в интегральном пенопласте (рис. 1.5а, б).

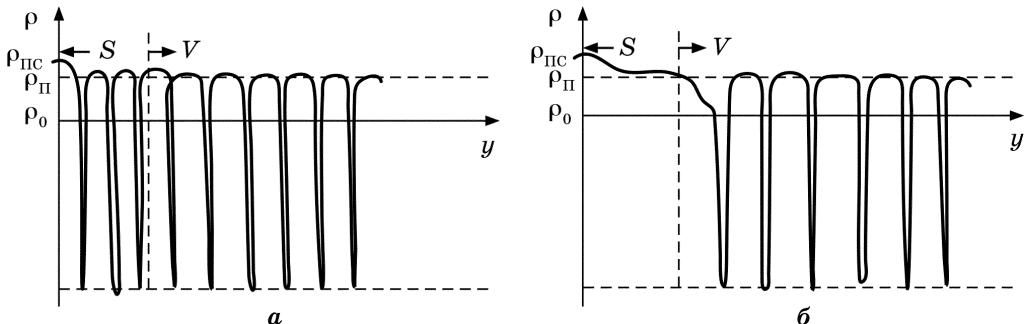


Рис. 1.5

Изменение плотности в пенопласте со статистическим распределением пузырьков газа (а) и в интегральном пенопласте (б)

Такой подход к делению и описанию полимерных композитов позволит спрогнозировать их свойства и выбрать наиболее удачную конструкцию материала для конкретного изделия.

В последние годы разрабатываются методы компьютерного проектирования изделия и материала одновременно. При этом решается обратная задача: от требований к эксплуатационным характеристикам изделия к составу и структуре композитного полимерного материала (КПМ), а затем решению по составу полимерной композиции и технологии ее переработки в материал.

Выбор полимерных композиций осуществляется по следующей схеме.

1. Определяют назначение изделия и условия его эксплуатации. При этом характеристики материала отнесены к условиям эксплуатации изделия.

2. Учитывают, что изготовление высококачественных изделий или конструкций зависит от условий переработки полимерной строительной композиции, а также свойств компонентов.

3. Учитывают экономическую целесообразность и наиболее полное использование в конструкции возможностей материалов.

В ряде случаев для выбора эффективной конструкции и оптимальных КПМ применяют математико-статистические методы. Например, определяют «степень удовлетворенности материалом ( $D$ )», которая выражается следующей формулой [3]

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \dots d_k)^{1/k}, \quad (1.1)$$

где  $d$  — вероятность получения необходимого свойства, называемая степенью желательности и меняющаяся от 0 до 1,  $k$  — количество необходимых для оценки материала свойств.

Такая система выбора принята для подбора материалов в авиационных концернах США.

Компьютерное проектирование в сочетании с компьютерным проектированием и отбором композиционных полимерных строительных материалов начинает внедряться в практическую деятельность соответствующих предприятий.

### **1.3. Кратко о свойствах и недостатках композиций на основе неорганических композиционных полимерных строительных материалов**

В строительной индустрии цементные композиты являются наиболее часто используемыми материалами благодаря простоте и относительной дешевизне их изготовления, высоким прочностным характеристикам и универсальности применения. Однако недостатки материалов на основе портландцемента, в том числе низкая прочность на растяжение, склонность к усадочным деформациям и вероятность хрупкого разрушения, вынуждают искать пути повышения их физико-механических и эксплуатационных характеристик, одним из которых является наноструктурирование композитов в строительном материаловедении.

На практике долговечность бетонных конструкций зависит от их уязвимости к повреждениям, вызванным внешней нагрузкой в сочетании с воздействиями окружающей среды, такими как абразивное/эррозионное воздействие, колебания влажности и температуры, циклы замораживания-оттаивания и т. д. Применение различных добавок для модификации композитов на основе портландцемента позволяет значительно улучшить физико-механические и эксплуатационные характеристики материалов, а также существенно расширить возможности их использования в строительной индустрии. Введение ультрадисперсных добавок в цементные композиты на стадии изготовления может обу-

словливать проявление свойств, отличных от характеристик традиционных цементных композитов. Фактически данные добавки могут использоваться для значительного повышения устойчивости цементных композитов к возникновению и распространению трещин в результате действия проектных и превышающих их нагрузок, а также различных химических и физических повреждений, вызванных усадкой, циклами замораживания-оттаивания, истиранием и т. д. Поэтому необходимо более подробно изучить влияние тонкодисперсных добавок на работу цементных композиций при воздействии на них как физических (усадка, термическая деструкция, истирание и попеременные циклы замораживания-оттаивания), так и химических негативных факторов (проникновение сульфатов, воздействие кислот, химическая реакция между щелочами и заполнителями в бетоне).

Усадка цемента при твердении — очень распространённое явление, приводящее к возникновению усадочных трещин в бетоне. В большинстве случаев, физическая, или капиллярная, усадка происходит в результате интенсивной потери воды в период набора прочности цементным композитом после схватывания, что особенно актуально для бетона с большим модулем поверхности (цементные стяжки, полы, монолитное домостроение, отделочные покрытия на основе цемента). Химическая усадка происходит при твердении тоберморитовых гелей в результате формирования кристаллогидратных новообразований, имеющих меньший объем, чем исходные материалы. При этом, если усадка в бетоне или других цементных композитах ограничена, она создает местное растягивающее напряжение, которое при превышении местной прочности композита может привести к образованию трещин в бетоне. Общая усадка цементных композитов является результатом совместного действия усадки при высыхании, пластической усадки и аутогенной усадки. Она может быть уменьшена путем введения наноразмерных минеральных и углеродных добавок, таких как нано- $TiO_2$ , нано- $CaCO_3$ , нанокремнезем и углеродные нановолокна.

Как правило, при производстве бетона для придания ему требуемой «удобоукладываемости» вода «затворения» вводится в количестве, превышающем необходимое количество для гидратации цемента. При воздействии окружающей среды избыток воды испаряется, что вызывает усадку при высыхании. Считается, что введение в состав композиции тонкодисперсных добавок способно в некоторой степени сдерживать процесс образования трещин, однако конкретный вывод о роли тонкодисперсных добавок в процессе усадки цементных композитов на основании анализа литературы сделать сложно. Некоторые наноразмерные материалы, включая нано- $TiO_2$ , синтетические нановолокна и оксид графена, способны уменьшить усадку цементных композитов при высыхании. Исследования, проведенные Жангом и др., показали, что введение нанокремнезема или нано- $TiO_2$  в цементные композиты приводит к ограничению усадки портландцемента при твердении за счет формирования более компактной микроструктуры материала. Снижение потерь воды достигается за счет уменьшения размера пор и увеличения гидрофильности материала — в композитах, модифицированных 5 масс. % нано- $TiO_2$  количество непрореагировавших фаз уменьшается, тогда как размер и количество продуктов гидратации

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)