

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

В.Е. Данилов, Т.А. Махова, А.А. Шинкарук

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ

Учебное пособие

Архангельск
САФУ
2021

УДК 541.49
ББК 38.3
Д18

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований
и фундаментов Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова **С.Е. Аксенов**;
кандидат технических наук, доцент, зам. заведующего кафедрой материаловедения
и технологии материалов БГТУ им. В.Г. Шухова, старший научный сотрудник
НИИ «Наносистемы в строительном материаловедении» **В.В. Нелюбова**

Данилов, В.Е.
Д18 Строительные композиты: учеб. пособие / В.Е. Данилов, Т.А. Махова,
А.А. Шинкарук; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архан-
гельск: САФУ, 2021. – 160 с. – Текст: электронный.
ISBN 978-5-261-01566-6

Изложены общие сведения о композитах, принципы создания, виды и методы
идентификации. Содержатся данные об особенностях структуры и свойствах
строительных композитов: дисперсно- и газонаполненных, армированных волок-
нами. Приведен порядок статистической обработки результатов. Для закрепления
материала предложен перечень задач для самостоятельного решения.

Предназначено для подготовки бакалавров по направлению 08.03.01 «Строи-
тельство» и специалистов 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и соору-
жений».

УДК 541.49
ББК 38.3

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

ISBN 978-5-261-01566-6

© Данилов В.Е., Махова Т.А.,
Шинкарук А.А., 2021
© Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ..... | 6 |
| 1.1. Свойства и виды композиционных материалов | 9 |
| 1.2. Методы получения композиционных материалов | 18 |
| 1.3. Технология производства композиционных строительных материалов на минеральных вяжущих | 20 |
| 2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЩУЩИЕ ВЕЩЕСТВА | 23 |
| 3. ЦЕМЕНТНО-ПОЛИМЕРНЫЕ БЕТОНЫ..... | 31 |
| 3.1. Бетоны с химическими добавками..... | 32 |
| 3.2. Пропитка бетонов полимерами | 40 |
| 3.3. Композиты с добавками водных дисперсий. | 44 |
| 4. СТЕКЛОБЕТОН..... | 48 |
| 5. КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ СЕРЫ | 55 |
| 6. ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ..... | 60 |
| 6.1. Упругие и прочностные свойства волокнистых композитов | 61 |
| 6.2. Фибробетоны..... | 64 |
| 6.3. Виды армирующих волокон | 65 |
| 6.4. Применение композитного фибробетона | 69 |
| 6.5. Сталефибробетоны | 71 |
| 6.6. Области применения композиционных материалов в строительстве | 73 |
| 7. КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ. НАНОБЕТОН | 80 |
| 8. ДРЕВЕСНО-МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ | 82 |
| 8.1. Классификация ДМК | 83 |
| 8.2. Древесное сырье для производства ДМК..... | 85 |
| 8.3. Минеральное сырье для производства ДМК | 89 |
| 8.4. Химические добавки для производства ДМК..... | 90 |
| 8.5. Технология получения и свойства ДМК | 90 |
| 8.6. Модификация древесного сырья минеральными частицами | 107 |
| 9. ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ..... | 110 |
| 9.1. Производство древесно-полимерных композитов | 112 |
| 9.2. Свойства древесно-полимерных композитов | 117 |
| 10. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ..... | 122 |
| 10.1. Общие понятия..... | 122 |
| 10.2. Характеристика и диагностика качества строительных композитов | 126 |
| 10.3. Структура строительных композитов как объект идентификации | 130 |
| 10.4. Методы идентификации состава и структуры строительных композитов..... | 133 |

| | |
|---|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 145 |
| Приложение 1. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ | 145 |
| Практическая работа № 1. Получение и испытание арболита | 145 |
| Практическая работа № 2. Изготовление и испытание материала на основе композиционных вяжущих | 146 |
| Практическая работа № 3. Получение геополимерного вяжущего | 151 |
| Приложение 2. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ... | 153 |
| Приложение 3. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ | 155 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 159 |

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день невозможно представить наш мир без композиционных материалов. Практически все отрасли промышленности так или иначе используют преимущества таких материалов. Они могут сочетать в себе свойства, не присущие традиционным материалам. Регулируя состав и соотношение компонентов композита можно получить огромное количество видов, многообразие получаемых свойств, широкий спектр технологических приемов изготовления и обработки.

Изготовление и повсеместное применение композитов может сдерживаться лишь недостаточным количеством исследований, т.к. внедрение таких материалов требует от специалистов междисциплинарных знаний. Прежде чем приступить к проектированию и расчету конструкций и материалов из композитов, необходимо знать их структуру, характеристики всех входящих в них компонентов, физико-механические свойства получаемого композита, особенности технологии их изготовления. Результаты исследований в области создания новых композиционных материалов публикуются в научных журналах, сборниках конференций, но внедрение таких материалов в производство сдерживается трудностями различного характера – от дороговизны производства до сложностей при получении ТУ и ГОСТов на новые материалы.

Если говорить о композиционных материалах в широком смысле, то можно выделить такие, как углепластики, органопластики, стеклопластики и др. Среди всей совокупности композитов следует выделить строительные композиты. Строительная отрасль является крайне материалоемкой и внедрение композиционных материалов различных типов, особенно основанных на использовании различных отходов промышленности, представляется крайне важной и перспективной задачей. Бетоны, асфальтобетоны, гипсовые материалы, древесные плиты на неорганических вяжущих различного типа – все это примеры композиционных материалов, которые давно и успешно применяются в строительстве. Расширяя многообразие таких материалов, подбирая оптимальным образом компоненты, максимально используя отходы различных производств, можно получить современные качественные строительные материалы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Композиционные строительные материалы представляют собой многофазные системы, состоящие из двух или более материалов с различными свойствами и фактурами (рис. 1). Вследствие рационального сочетания нескольких исходных компонентов образуются новые материалы с заданными свойствами, не присущими исходным компонентам, но сохранившие в то же время индивидуальные особенности каждого из них.

Цель создания композиционных строительных материалов – улучшение тех или иных свойств по сравнению с такими свойствами исходных компонентов, как механические, теплофизические, а также химическая стойкость, долговечность и т.п., или снижение себестоимости материалов, в том числе и за счет применения различных отходов.



Рис. 1. Многообразие строительных композитов

Композиционный материал должен удовлетворять следующим критериям: композиция должна представлять собой объемное сочетание хотя бы двух химически разнородных материалов с четкой границей раздела между этими компонентами и характеризоваться свойствами, которых не имеет никакой из ее компонентов в отдельности. Композицию получают путем введения в основной материал определенного количества другого материала, который добавляется в целях получения специальных свойств. Композиционный материал может состоять из двух, трех и более компонентов. Размеры частиц входящих компонентов могут колебаться в широких пределах – от сотых долей микрометра до десятков микрометров при использовании волокнистых наполнителей.

В большинстве случаев компоненты композиции различны по геометрическому признаку. Один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объему, называется матрицей. Компонент прерывный, разделенный в объеме композиции, считается усиливающим или армирующим. Усиливающими или армирующими компонентами чаще всего являются тонкодисперсные порошкообразные частицы или волокнистые материалы различной природы. В зависимости от вида армирующего компонента композиты могут быть разделены на две основные группы: дисперсно-упрочненные и волокнисто-упрочненные, которые отличаются структурой, механизмами образования высокой прочности. Во всех случаях – это система разных материалов, каждый из составляющих которой имеет свое конкретное назначение применительно к рассматриваемому готовому изделию. Совместная работа разнородных материалов дает эффект, равносильный созданию нового материала, свойства которого и количественно, и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих в отдельности.

Итак, композиты – это полифункциональные системы, состоящие из отдельных сохраняющих свои свойства компонентов, объединение которых позволяет получать материал нового качества, не свойственного каждому компоненту в отдельности. Характерными особенностями, отличающими композиты от сплавов и других гетерогенных смесей, являются существование поверхности раздела между компонентами и независимость свойств каждого компонента в отдельности.

Свойства композита зависят от свойств компонентов, из которых он состоит, их соотношения и связей между ними. При этом часто композит обладает свойствами, которые отсутствуют у составляющих его компонентов. Наличие многочисленных границ раздела между компонентами делает композит, как правило, гораздо более прочным, чем исходные компоненты. Именно границы раздела фаз в композиционном материале и являются этим материальным носителем новых свойств.

Классификация композитов по материалу матрицы приведена на рис. 2. По виду применяемого материала матрицы композиционные материалы подразделяются на металлические и неметаллические. К металлическим относятся композиты на металлической матрице, к неметаллическим – цементные, керамические, полимерные, углеродистые материалы.

Композиты с матрицей смешанного типа носят название полиматричных композиционных материалов (рис. 3, а).

Композиционные материалы, состоящие из трех и более компонентов и содержащие в своем составе наполнители различной природы, называются гибридными (полиармированными) композитами (рис. 3, б).

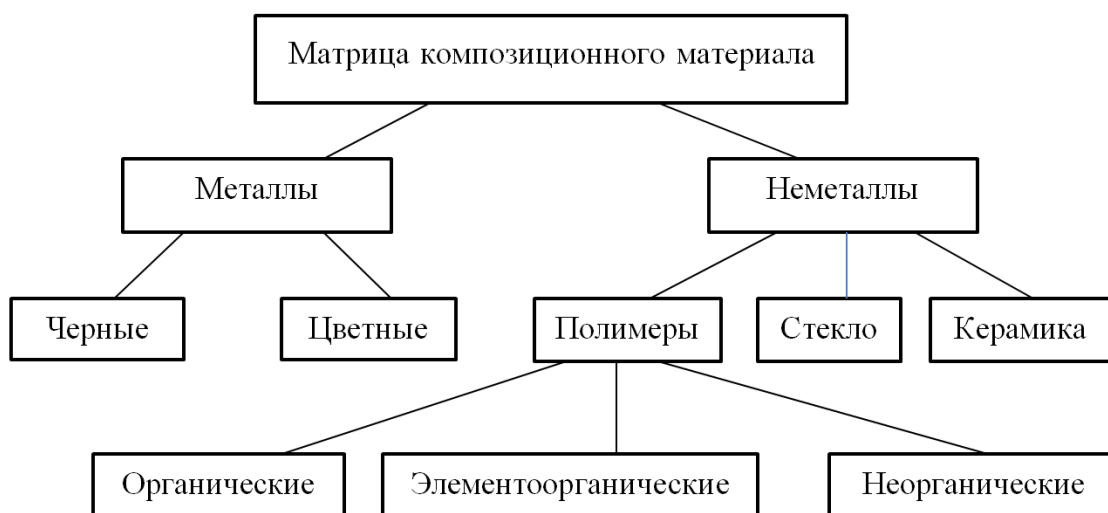


Рис. 2. Классификация композиционных материалов по материалу матрицы

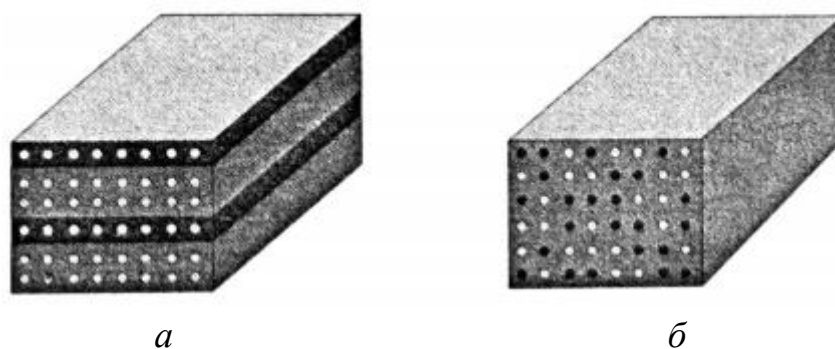


Рис. 3. Схемы армирования композитов:

a – полиматричный композит; *б* – гибридный (полиармированный) композит

Материал матрицы окружает и фиксирует армирующий материал, придает изделию форму, обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжений в наполнителе и определяет такие характеристики, как огнестойкость, химическую стойкость, а также теплопроводность и влагопроницаемость.

Армирующее вещество передает свои механические и физические свойства изделию, таким образом, усиливает свойства матрицы, а также воспринимает большую часть нагрузки, приходящейся на композиционный материал.

Важную роль среди всех композиционных материалов занимают композиционные вяжущие вещества. Практически все используемые в настоящее время вяжущие материалы уже являются композитами, например бетон (состоит из нескольких компонентов разной степени дисперсности), асфальтобетоны и др. Однако последние годы появилось множество исследований, касающихся замены части клинкерной составляющей бетонов на другие компоненты, чаще всего на отходы промышленности. Таким образом, можно

решить сразу несколько проблем – от экономии ресурсов (цемента, тепло- и энергоресурсов на его производство) до сокращения объемов складированных отходов в отвалах. Безусловно, для внедрения в массовое строительство композиционных вяжущих с использованием отходов различных производств нужны тщательные разносторонние исследования, разработка ТУ, ГОСТов на новые материалы. Данное направление является перспективным и правильным с точки зрения экологии. Это направление актуально, т.к. использование экологически чистых технологий позволяет снизить энергозатраты на производство.

1.1. Свойства и виды композиционных материалов

Для изучения свойств композиционных материалов необходимо понимать процессы, происходящие на поверхности раздела фаз между компонентами таких материалов. В идеале нужно научиться прогнозировать комплекс свойств, который необходимо придать материалам в зависимости от их назначения. На практике это не всегда выполнимо и требуются тщательные исследования, которые могут позволить создать оптимальный «рецепт» будущего материала.

Для наиболее полного знакомства с композиционными материалами приведем их классификацию.

По назначению:

- конструкционные;
- теплоизоляционные;
- гидроизоляционные;
- химически стойкие;
- электроизоляционные;
- отделочные;
- специального назначения.

По виду вяжущего:

- материалы на основе минеральных вяжущих веществ (цементные, известковые, гипсовые, магнезиальные);
- материалы на основе органических вяжущих (битумные, дегтевые);
- материалы на основе синтетических полимерных связующих (термопластичных и термореактивных);
- материалы на основе комплексных вяжущих (полимерцементные).

По способу твердения:

- твердеющие при понижении температуры;
- твердеющие в результате удаления части компонентов жидкой фазы – растворителей или разбавителей;