

В.Г. Миткульский,
В.И. Купряков,
Г.П. Сахаров,

Г.И. Герцаков,
Л.П. Ориентлиер,
В.М. Хрулев

В.В. Каллов,
Р.З. Рахимов,

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

АСВ

В.Г. Микульский

В.Н. Куприянов

Г.П. Сахаров

Г.И. Горчаков

Л.П. Орендлихер

В.М. Хрулев

В.В. Козлов

Р.З. Рахимов

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Материаловедение
Технология конструкционных материалов**

Под общей редакцией профессора, доктора технических

наук **В.Г. Микульского**

**и профессора, доктора технических наук,
заслуженного деятеля науки РФ Г.П. Сахарова**

Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования
Российской Федерации в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по строительным специальностям



Москва 2011

Издательство Ассоциации строительных вузов

УДК: 519.6.502(075)

Рецензенты:

чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. *Б.В. Гусев*;
кафедра архитектурного материаловедения Московского архитектурного
института (зав. каф., проф. *В.Е. Байер*).

Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др.

Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов). Учебное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. – 520 с.

ISBN 978-5-93093-041-2

В книге изложены основы материаловедения и технологии применительно к строительным материалам (сырью, производству, свойствам, областям применения) и конструкциям зданий и сооружений на их основе; показана взаимосвязь состава и структуры материалов с требуемыми служебными их свойствами в конструкциях и технологическими способами их достижения.

Учебник предназначен для студентов высших и средних учебных заведений строительных специальностей и может быть полезным инженерно-техническим работникам, организаторам производства, строителям-практикам и другим лицам, занятым в строительном производстве.

Пятое издание, дополненное и переработанное.

УДК: 519.6.502(075)

ISBN 978-5-93093-041-4

© Издательство АСВ, 2011
© В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков,
В.В. Козлов, В.Н. Куприянов,
Л.П. Орентлихер, Р.З. Рахимов,
Г.П. Сахаров, В.М. Хрулев, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

В цикле общепрофессиональных дисциплин государственного образовательного стандарта, по направлению подготовки дипломированных специалистов 653500 «Строительство», дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» занимает особое место в профессиональной подготовке специалистов строительного профиля, имея в виду решающее влияние строительных материалов на технико-экономическую эффективность и безопасность строительства и эксплуатацию зданий и сооружений. Собственный вес и стоимость строительных материалов в конструкциях составляет более 50 процентов.

Особенно актуальной оказывается роль строительных материалов в связи с принятием в 2003 г. Закона «О техническом регулировании», поставившего на первое место во всех видах производственно-эксплуатационной деятельности обеспечение безопасности жизни и здоровья людей, охраны окружающей среды и имущества всех видов собственности, что находит отражение в разрабатываемых в соответствии с этим законом Технических регламентах, в виде обязательных требований к продукции, процессам производства, работам и услугам, правилам эксплуатации, перевозки и хранения.

Все остальные нормативные документы, разрабатываемые в соответствии с указанным законом, – национальные и межгосударственные стандарты, стандарты предприятий и общественных организаций, региональные нормы, имеют рекомендательный и добровольный к применению характер, за исключением случаев, когда они касаются вопросов безопасности, а также включены в договоры заказчика.

Применительно к строительным материалам концепция безопасности означает обеспечение служебных функциональных свойств, экологической чистоты, пожаробезопасности и безвредности материалов в течение всего их жизненного цикла. Сам по себе материал не является исполнителем роли, принадлежащей конечной строительной продукции, сделанной из этого материала (ограждающие и несущие конструкции, по-

крытия и др.), как не выполняют этой роли приготовленная бетонная смесь, изготовленный цемент или кирпич. Упор поэтому следует делать не исключительно на сам материал, а скорее на области его применения и выявление некоторой зоны, в которой происходит взаимоналожение свойств материала и конечной продукции. Это подчеркивает главенствующую роль конечной строительной продукции, ее функционального назначения и условий эксплуатации при изучении, выборе и разработке материалов для ее изготовления, обеспечивающая гомеостат материалов и продукции в течение срока их службы.

В учебном плане подготовки специалистов строительного профиля дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» является первой инженерной дисциплиной, создающей необходимую базу для изучения специальных дисциплин — строительных конструкций, технологии строительного производства, экономики, управления и организации строительства, городского хозяйства и строительства, архитектуры и др.

Поэтому роль и значение материалов рассматриваются в неразрывной связи с их работой и поведением в изделиях и конструкциях зданий и сооружений за длительный период эксплуатации в реальных условиях.

Текст учебника составлен из трех разделов: I — Строительное материаловедение, II — Технология строительных материалов и изделий, III — Строительные материалы в конструкциях зданий и сооружений.

Строительные материалы в учебнике классифицированы по роду сырья, общности технологического процесса их изготовления, функциональному назначению и областям применения, т.е. по принципу того, что в той или иной степени объединяет строительные материалы.

По тексту дается информация о зарубежном опыте. Ввиду небольшого объема учебника после каждой главы рекомендуется дополнительная техническая литература для углубленного изучения отдельных положений. Поставлены основные вопросы для самоконтроля и осмысления проработанного материала.

В учебнике акцент делается не на те или иные направления, выдвигаемые конъюнктурными соображениями, а на те, которые способствуют рентабельности и прогрессу строительной техники.

С учетом развития частного предпринимательства, создания малых предприятий в учебнике представлены местные строительные материалы, которые могут быть эффективно применены при малоэтажном строительстве жилья, городских и сельских предприятий, фермерских хозяйств.

Рассматриваются некоторые экологические аспекты производства и применения строительных материалов.

Учебник создан коллективом профессоров: В.В. Козловым, Л.П. Орендлихер, Г.П. Сахаровым (МГСУ), Р.З. Рахимовым (КГАСА), В.М. Хрулевым (НГАСУ).

Авторы выражают большую благодарность и признательность безвременно ушедшим из жизни профессорам Г.И. Горчакову и В.Г. Микульскому, внесшим большой вклад в создание учебника, а также члену правления объединенной международной группы «Кнауф» д-ру Хайнеру Гамму за помощь в издании настоящего учебника.

Авторы признательны и благодарны чл.-корр. РАН д.т.н., проф. Б.В. Гусеву и проф. В.Е. Байеру (МАРХИ) за полезные замечания по содержанию учебника.

Строительные материалы и изделия составляют материальную основу строительства. Ни одно здание и сооружение нельзя правильно спроектировать, построить и эксплуатировать без наличия соответствующих материалов и всестороннего знания их свойств и безопасности. В этом заключается конструктивная и жизнеобеспечивающая роль строительных материалов.

Промышленность строительных материалов является ресурсо-энергоемкой отраслью. Ежегодно в стране перерабатывается более миллиарда тонн различных веществ. Грузовой железнодорожный транспорт примерно на четверть загружен перевозкой строительных материалов, речной – более чем наполовину. Стоимость строительных материалов зависит от затрат на их перевозку. При транспортировании материалов на большие расстояния, учитывая размеры России, стоимость может возрасти в несколько раз. Для снижения стоимости строительства следует использовать материалы, производимые вблизи строящегося объекта. Целесообразно и промышленность строительных материалов организовывать как можно ближе к сырьевой базе. Тем самым максимально используются местные строительные материалы. Стоимость строительных материалов определяется различными факторами, главными из которых являются рентабельность и конкурентоспособность. К ним относятся качество и долговечность изделий, теплоэнергетические затраты на производство, возможность утилизации отходов, экологические аспекты, которые в конечном итоге сказываются на экономике производства, региона, страны в целом. Пренебрежение этими факторами может со временем обернуться значительными расходами на ремонты, реконструкцию, восстановление окружающей среды и т.п.

Решение назревших проблем оптимизации всех аспектов жизненного цикла строительных материалов и изделий находит отражение в «Технических регламентах», национальных стандартах и стандартах организаций, разрабатываемых, как указывалось выше, в соответствии с Законом «О техническом регулировании».

Концептуально закрепляя в этих документах требование обеспечения безопасности жизни и здоровья людей, окружающей среды и имущества при любых видах производственно-строительной деятельности, закон предоставляет большую самостоятельность производителям строительной продукции в выборе и разработке материалов и изделий, технологических и технических решений, лишь бы они не нарушали требований безопасности. С этих позиций все нор-

мативные документы, кроме «Технических регламентов», носят рекомендательный, добровольный характер.

Россия активно идет по пути интеграции с европейской экономикой. Предстоит пересмотр и разработка новых стандартов на базе международных стандартов, в первую очередь стандартов Европейского комитета по стандартизации (CEN) и Международной организации по стандартизации (ISO). По этому поводу имеется официальное соглашение между CEN и «Ростехрегулированием».

Показательна эволюция развития производства строительных материалов в России.

Уже в глубокой древности наши предки умели изготавливать глиняный кирпич, воздушную и гидравлическую известь, широко использовали древесину и природный камень.

В царствование Ивана Грозного для систематизации накопившегося за столетия строительного опыта был создан «Приказ каменных дел», который руководил государственным производством строительных материалов и строительством главным образом крепостных сооружений.

В последующие годы это производство развивалось медленными темпами, и только при Петре I в связи с закладкой новых городов и крепостей производство строительных материалов резко увеличилось.

Отмена крепостного права и начало развития капитализма в России послужили мощным толчком для промышленности и роста производства строительных материалов. Со второй половины XIX в. стали строиться заводы для производства портландцемента, механизированные печи для обжига известняка, заводы для выпуска кирпича, облицовочной плитки, начинает применяться железобетон.

В начале XX в. Россия становится не только богатой аграрной, но и довольно мощной индустриальной державой. Построены крупные металлургические и машиностроительные предприятия, шахты, железные дороги, порты, мосты и т.п.

Нарастает жилищный бум. Только в Москве к 1913 г. ежегодно строилось до 3 тыс. 5–7-этажных кирпичных, так называемых доходных домов, что требовало весьма развитой строительной базы. Однако эволюционное развитие страны было на подъеме остановлено Первой мировой войной, затем революциями и Гражданской войной. Производство строительных материалов резко сократилось, многие цементные заводы и другие предприятия были разрушены.

С середины 20-х годов развернулась реконструкция старых и постройка новых заводов строительных материалов. В 30-е годы бы-

ли созданы новые материалы — пустотелый и высокопрочный кирпич, шлаковые цементы, цементы с активными минеральными добавками, легкие бетоны, сборные железобетонные конструкции и пр. Потребность в материалах растет, повсеместно строятся промышленные предприятия, ведется строительство жилых и общественных зданий.

Война с Германией 1941–1945 гг. привела к опустошительному разрушению западной части страны, после чего начался долгий восстановительный период. Задача стояла не в создании архитектурных шедевров, а в строительстве самого необходимого и в сжатые сроки.

Начиная с 50-х годов в стране постоянно увеличивается выпуск строительных материалов. К 80-м годам по производству цемента, металла, сборного железобетона, асбоцемента, листового стекла мы намного опережали другие страны. Однако существовавшая экономическая и политическая система жесткого государственного монополизма стала тормозом и в строительной индустрии.

Большинство предприятий строительной индустрии пока еще не может конкурировать на мировом рынке с зарубежными фирмами в силу изношенности оборудования, устаревшей технологии, низкой культуры производства и качества продукции. Многие современные технологии, оборудование и материалы приходится закупать за границей. Лучшие здания стали возводить с помощью зарубежных фирм вплоть до привлечения иностранных рабочих. Отечественные архитекторы, выигрывая престижные международные конкурсы, приглашаются в другие страны, так как у нас нет возможности реализовать их проекты. Строительный комплекс требует значительной модернизации и вовлечения в общемировую интеграцию.

Тем не менее за прошедшие десятилетия построены новые города, возведены уникальные объекты, такие как гидротехнические сооружения, промышленные предприятия, атомные электростанции, научные, учебные и общественно-культурные центры. В последние годы строительный комплекс в целом не теряет своих темпов развития. Все это потребовало усилий нашей научно-инженерной общественности. Отечественная наука играла и играет важную роль в развитии строительных материалов. Созданные нашими учеными технологии производства цемента, металла, бетона, керамики, теплоизоляционных материалов, заводского домостроения используют многие страны.

Ниже кратко изложены сведения о достижениях российских ученых, заложивших научные основы в ведущих отраслях производ-

ства строительных материалов и получивших международное признание.

Природные каменные материалы. Целенаправленная разведка каменных материалов и испытание их началось в России с 70-х годов XIX века в связи со строительством железных дорог и мостов. Исследования свойств материалов велись под руководством Н.А. Беллюбского (1845–1922) в Петербургском институте путей сообщения и Н.К. Лахтина (1861–1935) в Москве.

Благодаря исследованиям Д.С. Белянкина (1876–1953), В.А. Обручева (1863–1956), А.Е. Ферсмана (1883–1945), Ф.Ю. Левинсон-Лессинга (1861–1939) удалось выявить огромные запасы природных каменных материалов во многих районах страны для удовлетворения нужд строительства и полностью прекратить ввоз гранитов и мрамора из-за границы.

Вязущие материалы. Основоположником теории и практики промышленного производства портландцемента в России является профессор Военно-инженерной академии А.Р. Шуляченко (1841–1903), которого называют «отцом русского цементного производства». Вначале в России применялись иностранные цементы, но благодаря научным и практическим изысканиям А.Р. Шуляченко, отечественные цементы, достигшие высокого качества, вытеснили иностранные цементы. Разработанная им теория твердения гидравлической извести и цементов не потеряла актуальности в своей основе и до настоящего времени. Дальнейшее развитие этой теории принадлежит А.А. Байкову (1870–1946), В.А. Кинду (1883–1938), В.Н. Юнгу (1882–1956), П.А. Ребиндеру (1898–1972). Новым видам вязущих материалов и изделиям из них посвящены работы П.П. Будникова (1885–1968), А.В. Волженского (1899–1993), П.И. Боженова (1904–1999).

Бетоны. Выдающийся научный вклад в технологию бетона внес профессор Военно-инженерной академии И.Г. Малюга (1853–1933). Результаты его исследований дали возможность получить зависимость прочности бетона от содержания воды, уплотнения бетонной смеси при укладке, крупности песка, щебня и гравия.

Обширные исследования бетонов были проведены Н.М. Беляевым (1890–1944), И.П. Александровым (1888–1953). С 30-х годов XX века предложены новые способы расчета тяжелых бетонов Б.Г. Скрамтаевым (1905–1966) и легких бетонов Н.А. Поповым (1899–1964).

Железобетоны. Большая заслуга в развитии железобетона принадлежит Н.А. Беллюбскому, под руководством которого были

проведены первые в России испытания железобетонных конструкций и возведен ряд сооружений. В начале XX столетия железобетонные конструкции проектировали и строили С.И. Дружинин (1872–1935), А.Ф. Лолейт (1868–1933) и др.

Современную школу расчета и проектирования железобетонных конструкций создали А.А. Гвоздев (1897–1986), П.Л. Пастернак (1885–1963), В.И. Мурашев (1904–1959), Н.В. Никитин (1907–1973) (автор Останкинской телевизионной башни в Москве) и др.

Металлы. Возникновение науки о металлах было обусловлено потребностями техники. П.П. Аносов (1799–1851) разработал технологию выплавки высококачественной стали, установил зависимость свойств металлов от их кристаллического строения. Впервые применив микроскоп для изучения строения стали, Д.К. Чернов (1839–1921) научно объяснил изменения структуры металлов при их нагреве и охлаждении, указал способы управления этими процессами. Н.С. Курнаков (1860–1941) и А.А. Байков разработали современную теорию образования сплавов и методы их физико-химических исследований.

Создателями металлических конструкций и сооружений являются В.Г. Шухов (1853–1939), Н.С. Стрелецкий (1885–1967), Л.Д. Прокураков (1858–1926).

Пластмассы. Промышленность полимерных материалов опирается на исследования русских ученых-химиков. Огромное значение для развития синтеза полимеров сыграли исследования А.М. Бутлерова (1828–1886) — создателя теории строения органических веществ. Им осуществлен синтез изобутилена для производства полиизобутилена, применяемого в качестве каучуков, а также открыты основные полимерные формы формальдегида, являющегося основой многих пластмасс. Важное значение имели исследования М.Г. Кучерова (1850–1911) и А.Е. Фаворского (1860–1945), выяснивших механизм изомерных превращений непредельных соединений, В.В. Солонина (1862–1934), впервые осуществившего реакцию сополимеризации, и С.В. Лебедева (1874–1934), внесшего большой вклад в теорию и практику полимеризации этиленовых соединений, пользующихся большим распространением в промышленности пластмасс.

Большой вклад в подготовку квалифицированных специалистов для индустриального производства строительных материалов и изделий внесли отечественные ученые В.В. Эвальд, В.А. Кинд, Б.Г. Скрамтаев, Н.А. Попов, В.А. Воробьев, И.Я. Слободяник, А.Е. Шейкин, М.И. Хигерович, А.Г. Комар, Г.И. Горчаков,

Ю.М. Баженов, Д.П. Айрапетов, И.А. Рыбьев и др., создавшие учебники по строительным материалам, широко используемые в учебном процессе во всех строительных вузах бывшего СССР и нынешней России.

Эти учебники написаны преподавателями кафедр строительных материалов, роль которых в становлении инженерного и научного потенциала России в области строительства чрезвычайно велика. Первая кафедра строительных материалов была образована в Санкт-Петербурге в 1900 г. в Институте гражданских инженеров императора Николая I на базе механической лаборатории и испытательного центра. Основателем ее был Виктор Владимирович Эвальд (1860–1935), он же является и автором первого учебника по строительным материалам.

Периодически задаются вопросы о будущем строительных материалов. Бурное развитие науки и техники затрудняет прогнозирование: еще четыре десятилетия назад не было широкого применения полимерных строительных материалов, а о современных «истинных» композитах было известно только узкому кругу специалистов. Тем не менее можно предположить, что основными строительными материалами также будут металл, бетон и железобетон, керамика, стекло, древесина, полимеры. Строительные материалы будут создаваться на той же сырьевой основе, с применением современных информационных технологий, новых рецептур компонентов и технологических приемов, реализующих конструктивные процессы на наноуровне, что придаст материалам более высокое функциональное качество, долговечность и надежность. Будет максимальное использование отходов различных производств, отработавших изделий, местного и домашнего мусора. Строительные материалы будут выбираться по экологическим критериям, а их производство будет основываться на безотходных технологиях.

Уже сейчас имеется обилие фирменных названий отделочных, изоляционных и других материалов, которые в принципе отличаются только составом и технологией. Этот поток новых материалов будет увеличиваться, а их эксплуатационные свойства — совершенствоваться с учетом суровых климатических условий и энергетических ресурсов России.

Глава I. СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. Общие сведения

Материаловедением называют науку, изучающую связь состава, строения и свойств материалов, а также закономерности их изменения при физико-химических, физических, механических и других воздействиях. Всякий материал в конструкциях зданий и сооружений воспринимает те или иные нагрузки и подвергается действию окружающей среды.

Нагрузки вызывают деформации и внутренние напряжения в материале, поэтому проектирование зданий и сооружений требует точных характеристик прочностных и деформативных свойств применяемых материалов, называемых *механическими свойствами*.

Кроме прочности строительные материалы должны обладать *стойкостью*, т.е. способностью сопротивляться физическим и химическим воздействиям среды: воздуха и содержащихся в нем паров и газов, воды и растворенных в ней веществ, колебаниям температуры и влажности, совместному действию воды и мороза при многократном замораживании и оттаивании, воздействию химически агрессивных веществ — кислот, щелочей и др.

Исходя из условий работы материала в сооружениях, строительные материалы можно разделить по назначению на две группы.

Первую группу составляют материалы универсального типа, пригодные для несущих конструкций: природные каменные материалы; искусственные каменные материалы, получаемые на основе вяжущих веществ без обжига (бетоны, строительные растворы); получаемые термической обработкой минерального сырья (керамика, стекло, ситаллы, металлы); конструкционные пластмассы; лесные материалы и др.

Вторая группа объединяет строительные материалы специального назначения, необходимые для защиты конструкций от вредных влияний среды, а также для повышения эксплуатационных свойств зданий и создания комфорта: теплоизоляционные материалы; акустические; гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие; отделочные; антикоррозионные и др.

Изделия, конструкции должны обеспечивать долговечность и надежность при длительной эксплуатации.

Долговечность — свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. Предельное состояние определяется разрушением изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями. Долговечность строительных изделий измеряют обычно сроком службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и режиме эксплуатации. Например, для железобетонных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I — соответствует сроку службы не менее 100 лет, II — 50 лет, III — 20 лет.

Надежность представляет собой общее свойство, характеризующее проявление всех остальных свойств изделия в процессе эксплуатации. Надежность складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости. Эти свойства связаны между собой.

Безотказностью называют свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безотказности относят вероятность безотказной работы.

Отказом называют событие, при котором система, элемент или изделие полностью или частично теряют работоспособность. Потеря работоспособности вызывается такой неисправностью, при которой хотя бы один из основных параметров выходит за пределы установленных допусков.

Ремонтпригодность — свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Показателем ремонтпригодности является среднее время ремонта на один отказ данного вида, а также трудоемкость и стоимость устранения отказов.

Сохраняемость — свойство изделия сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования, установленного технической документацией. Сохраняемость количественно оценивают временем хранения и транспортирования до возникновения неисправности.

§ 2. Связь строения, состава и свойств

Строение и свойства

Знание строения строительного материала необходимо для понимания его свойств и в конечном итоге для решения практического

вопроса, где и как применить материал, чтобы получить наибольший технико-экономический эффект.

Строение материала изучают на трех уровнях: 1) макроструктура материала — строение, видимое невооруженным глазом; 2) микроструктура материала — строение, видимое в оптический микроскоп; 3) внутреннее строение веществ, составляющих материал, на молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т.п.

Макроструктура твердых строительных материалов* может быть следующих типов: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая (порошкообразная).

Искусственные конгломераты — это обширная группа, объединяющая бетоны различного вида, ряд керамических и других материалов.

Ячеистая структура характеризуется наличием макропор, свойственных газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам.

Мелкопористая структура свойственна, например, керамическим материалам, поризованным способами высокого водозатвердения и введением выгорающих добавок.

Волокнистая структура присуща древесине, стеклопластикам, изделиям из минеральной ваты и др. Ее особенностью является резкое различие прочности, теплопроводности и других свойств вдоль и поперек волокон.

Слоистая структура отчетливо выражена у рулонных, листовых, плитных материалов, в частности у пластмасс со слоистым наполнителем (бумопласта, текстолита и др.).

Рыхлозернистые материалы — это заполнители для бетона, зернистые и порошкообразные материалы для мастичной теплоизоляции, засыпок и др.

Микроструктура веществ, составляющих материал, может быть кристаллическая и аморфная. Кристаллические и аморфные формы нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества. Примером служит кристаллический кварц и различные аморфные формы кремнезема. Кристаллическая форма всегда более устойчива. Чтобы вызвать химическое взаимодействие между кварцевым песком и известью, в технологии силикатного кирпича применяют автоклавную обработку отформованного сырца насыщенным водяным паром температурой не менее

* Природные каменные материалы сюда не относятся, так как горные породы имеют собственную геологическую классификацию

175 °С и давлением 0,8 МПа. Между тем трепел (аморфная форма диоксида кремния) вместе с известью после затворения водой образует гидросиликат кальция при нормальной температуре 15–25 °С. Аморфная форма вещества может перейти в более устойчивую кристаллическую форму.

Практическое значение для природных и искусственных материалов имеет явление полиморфизма — когда одно и то же вещество способно существовать в различных кристаллических формах, называемых модификациями. Наблюдаются, например, полиморфные превращения кварца, сопровождающиеся изменением объема.

Особенностью кристаллического вещества является определенная температура плавления (при постоянном давлении) и определенная геометрическая форма кристаллов каждой его модификации.

Свойства монокристаллов неодинаковы в разных направлениях. Это механическая прочность, теплопроводность, скорость растворения, электропроводность и др. Явление *анизотропии* является следствием особенностей внутреннего строения кристаллов.

В строительстве применяют поликристаллические каменные материалы, в которых разные кристаллы ориентированы беспорядочно. Подобные материалы рассматриваются как изотропные по своим строительно-техническим свойствам. Исключения составляют слоистые каменные материалы (гнейсы, сланцы и др.).

Внутреннее строение веществ, составляющих материал, определяет механическую прочность, твердость, тугоплавкость и другие важные свойства материала.

Кристаллические вещества, входящие в состав строительного материала, различают по характеру связи между частицами, образующими пространственную кристаллическую решетку. Она может быть образована: нейтральными атомами (одного и того же элемента, как в алмазе, или различных элементов, как в SiO_2); ионами (разноименно заряженными, как в $CaCO_3$, или одноименными, как в металлax); целыми молекулами (кристаллы льда).

Ковалентная связь осуществляется обычно электронной парой, образуется в кристаллах простых веществ (алмаз, графит) и в кристаллах некоторых соединений из двух элементов (кварц, карборунд, другие карбиды, нитриды). Такие материалы выделяются очень высокой механической прочностью и твердостью, они весьма тугоплавки.

Ионные связи образуются в кристаллах тех материалов, в которых связь имеет преобладающе ионный характер. Распространенные

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ I. СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	
Глава I. Строение и основные свойства	12
§1. Общие сведения.....	12
§2. Связь строения, состава и свойств.....	13
§3. Физико-химические методы оценки состава и структуры.....	17
§4. Физические свойства.....	21
§5. Механические свойства.....	34
Вопросы для самоконтроля.....	55
Дополнительная литература.....	56
Глава II. Понятие о композиционных материалах	57
§1. Общие сведения.....	57
§2. Состав и строение композита.....	58
§3. Оценка матрицы и упрочнителя в формировании свойств композита.....	61
§4. Строительные материалы–композиты.....	64
Вопросы для самоконтроля.....	66
Дополнительная литература.....	66
Глава III. Состав, строение и свойства сырья для производства строительных материалов	66
§1. Общие сведения.....	66
§2. Магматические горные породы (изверженные).....	69
§3. Осадочные горные породы.....	79
§4. Метаморфические горные породы.....	87
§5. Техногенные отходы.....	90
Вопросы для самоконтроля.....	97
Дополнительная литература.....	97
РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	
Глава IV. Природные каменные материалы	98
§1. Общие сведения.....	98
§2. Обработка природных каменных материалов.....	98
§3. Классификация природных изделий по эксплуатационно-техническим свойствам.....	101
§4. Характеристика и применение природных каменных изделий.....	102

§5. Предохранение каменных материалов от разрушения.....	106
Вопросы для самоконтроля.....	107
Дополнительная литература.....	108
А. Строительные материалы, получаемые термической обработкой минерального сырья.....	108
Глава V. Керамические материалы.....	108
§1. Общие сведения.....	108
§2. Сырье для производства керамических материалов.....	110
§3. Общая схема производства керамических изделий.....	113
§4. Структура и общие свойства керамических изделий.....	118
§5. Стеновые изделия.....	119
§6. Облицовочные изделия.....	123
§7. Керамические изделия для кровли и перекрытий.....	126
§8. Санитарно-технические керамические изделия и трубы.....	128
§9. Специальные керамические изделия.....	130
§10. Использование отходов в керамическом производстве.....	131
Вопросы для самоконтроля.....	132
Дополнительная литература.....	132
Глава VI. Стекло и другие материалы на основе минеральных расплавов.....	132
§1. Общие сведения.....	132
§2. Стекло и его свойства.....	133
§3. Стекланные материалы.....	138
§4. Ситаллы, шлакоситаллы и ситаллопласты.....	146
§5. Изделия из каменных расплавов.....	148
§6. Использование отходов в производстве плавленных изделий.....	149
Вопросы для самоконтроля.....	150
Дополнительная литература.....	150
Глава VII. Металлические материалы.....	150
§ 1. Общие сведения.....	150
§2. Атомно-кристаллическое строение металлов.....	152
§3. Основы получения чугуна и стали.....	154
§4. Механические свойства металлов.....	155
§5. Кристаллизация и фазовый состав железоуглеродистых сплавов.....	159

§6. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали.....	164
§7. Модифицирование структуры и свойств стали.....	165
§8. Конструкционные строительные стали.....	170
§9. Стальная арматура для железобетонных конструкций.....	174
§10. Чугун.....	176
§11. Цветные металлы.....	180
Вопросы для самоконтроля.....	184
Дополнительная литература.....	184
Глава VIII. Неорганические вяжущие вещества.....	185
§1. Общие сведения.....	185
§2. Воздушные вяжущие вещества.....	186
§3. Гидравлические вяжущие вещества.....	194
§4. Специальные виды портландцемента.....	212
§5. Глиноземистый цемент.....	218
§6. Расширяющиеся и безусадочные цементы.....	219
Вопросы для самоконтроля.....	220
Дополнительная литература.....	221
Б. Строительные материалы на основе неорганических вяжущих веществ.....	221
Глава IX. Искусственные каменные материалы.....	221
§1. Общие сведения.....	221
§2. Материалы на основе гипса.....	222
§3. Материалы на основе извести (силикатные изделия).....	227
§4. Материалы на основе цемента.....	234
Вопросы для самоконтроля.....	244
Дополнительная литература.....	244
Глава X. Бетоны.....	245
§1. Общие сведения.....	245
§2. Тяжелый бетон.....	246
§3. Свойства бетонной смеси.....	252
§4. Прочность бетона.....	258
§5. Определение состава бетона.....	260
§6. Марки и классы бетона.....	264
§7. Свойства бетона.....	268
§8. Легкие бетоны.....	273
§9. Особые виды бетона.....	288
Вопросы для самоконтроля.....	296
Дополнительная литература.....	297

Глава XI. Строительные растворы.....	297
§1. Общие сведения.....	297
§2. Материалы для изготовления растворяемых смесей..	298
§3. Свойства строительных растворов.....	299
§4. Виды строительных растворов.....	302
§5. Сухие смеси.....	304
Вопросы для самоконтроля.....	306
Дополнительная литература.....	306
В. Строительные материалы на основе органического сырья.....	307
Глава XII. Лесные материалы.....	307
§1. Общие сведения.....	307
§2. Строение и состав.....	308
§3. Свойства древесины.....	313
§4. Пороки древесины.....	322
§5. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания.....	328
§6. Материалы и изделия из древесины.....	332
§7. Биокмполиты.....	337
Вопросы для самоконтроля.....	338
Дополнительная литература.....	338
Глава XIII. Битумные и дегтевые вяжущие вещества и бетоны (растворы) на их основе.....	339
§1. Общие сведения.....	339
§2. Битумные вяжущие вещества.....	340
§3. Дегтевые вяжущие вещества.....	344
§4. Асфальтовые бетоны и растворы.....	346
Вопросы для самоконтроля.....	348
Дополнительная литература.....	348
Глава XIV. Полимерные материалы.....	349
§1. Общие сведения.....	349
§2. Состав и свойства пластмасс.....	350
§3. Свяжующие вещества.....	352
§4. Основы производства полимерных материалов.....	361
§5. Некоторые изделия из полимерных материалов....	368
§6. Модификация строительных материалов полимерами.....	374
Вопросы для самоконтроля.....	380
Дополнительная литература.....	380
Г. Строительные материалы специального назначения.....	381

Глава XV. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы	381
§1. Общие сведения.....	381
§2. Кровельные материалы.....	382
§3. Гидроизоляционные материалы.....	389
§4. Герметизирующие материалы.....	392
Вопросы для самоконтроля.....	394
Дополнительная литература.....	394
Глава XVI. Теплоизоляционные материалы	395
§1. Общие сведения.....	395
§2. Строение и свойства.....	396
§3. Неорганические теплоизоляционные материалы...	400
§4. Органические теплоизоляционные материалы.....	406
§5. Применение теплоизоляционных материалов и изделий.....	410
Вопросы для самоконтроля.....	413
Дополнительная литература.....	413
Глава XVII. Акустические материалы	414
§ 1. Общие сведения.....	414
§2. Звукопоглощающие материалы.....	415
§3. Звукоизоляционные материалы.....	418
Вопросы для самоконтроля.....	423
Дополнительная литература.....	423
Глава XVIII. Отделочные материалы	423
§1. Общие сведения.....	423
§2. Красочные материалы.....	425
§3. Природный и искусственный камень.....	435
§4. Керамика, стекло, металл.....	437
§5. Лесные материалы.....	439
§6. Полимерные материалы.....	440
Вопросы для самоконтроля.....	441
Дополнительная литература.....	441
РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	442
Глава XIX. Металлические конструкции	442
§1. Общие сведения.....	442
§2. Стальные конструкции.....	444
§3. Алюминиевые конструкции.....	446
Вопросы для самоконтроля.....	452
Дополнительная литература.....	452
Глава XX. Железобетонные и каменные конструкции	453

§ 1. Общие сведения.....	453
§2. Изготовление железобетонных конструкций.....	454
§3. Применение бетонов в сборных железобетонных конструкциях.....	463
§4. Применение бетонов в монолитных железобетонных конструкциях.....	466
§5. Каменные конструкции.....	469
§6. Вторичное использование материала каменных, бетонных и железобетонных конструкций.....	472
Вопросы для самоконтроля.....	473
Дополнительная литература.....	473
Глава XXI. Деревянные конструкции.....	474
§1. Общие сведения.....	474
§2. Материалы и изделия для деревянных конструк- ций.....	474
§3. Деревянные клееные конструкции и сборные дома	477
Вопросы для самоконтроля.....	482
Дополнительная литература.....	483
Глава XXII. Полимерные конструкции.....	483
§ 1. Общие сведения.....	483
§2. Пневматические конструкции.....	484
§3. Оболочки из пластмасс.....	485
§4. Полимербетонные конструкции.....	487
§5. Трехслойные панели.....	488
Вопросы для самоконтроля.....	491
Дополнительная литература.....	491
Глава XXIII. Антикоррозионная защита конструкций.....	491
§1. Общие сведения.....	491
§2. Материалы для защиты от коррозии.....	493
§3. Защита от коррозии строительных конструкций... ..	494
Вопросы для самоконтроля.....	500
Дополнительная литература.....	500
Глава XXIV. Ремонт и реставрация конструкций.....	500
§1. Общие сведения.....	500
§2. Подготовка поверхности и выбор состава.....	502
§3. Заделка трещин и другие ремонтные работы.....	504
Вопросы для самоконтроля.....	506
Дополнительная литература.....	506
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	507
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	511

Учебное издание

Валентин Гаврилович Микульский

Григорий Иванович Горчаков

Валерий Васильевич Козлов

Валерий Николаевич Куприянов

Лидия Петровна Ортглихер

Равиль Зуфарович Рахимов

Григорий Петрович Сахаров

Валентин Михайлович Хрулев

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материаловедение

Технология конструкционных материалов

Под общей редакцией профессора, доктора технических

наук В.Г. Микульского

**и профессора, доктора технических наук,
заслуженного деятеля науки РФ Г.П. Сахарова**

Компьютерная верстка: Е.С. Корнило

Редактор: Г.М. Мубаракшина

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 25.02.11. Формат 60х90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 32,5 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>