В.Г. Микульский Г.И. Горчаков В.В. Козлов
В.Н. Куприянов Л.П. Орентлихер Р.З. Рахимов
Г.П. Сахаров В.М. Хрулев

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(Материаловедение. Строительные материалы)

Под общей редакцией профессора, доктора технических наук В.Г. Микульского и профессора, доктора технических наук В.В. Козлова

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

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. и др.
Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы): Учеб. издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с.

ISBN 5-93093-041-4

В книге приведены основы строительного материаловедения и технологии применительно к строительным материалам (сырье, производство, свойства, области применения) и строительные материалы в конструкциях зданий и сооружений. Дана взаимосвязь состава сырья, структуры, свойств и особенностей технологических процессов получения строительных материалов при производстве изделий, конструкций и сооружений.

Учебник предназначен для студентов высших и средних учебных заведений строительных специальностей, а также может быть полезным инженерно-техническим работникам, организаторам производства, строителям-практикам и другим лицам, связанным со строительной индустрией.

Четвертое издание, дополненное и переработанное.

УДК: 519.6.502(075)

ISBN 5-93093-041-4

© Издательство АСВ, 2004 г.
© В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов, В.Н. Куприянов, Л.П. Орентлихер, Р.З. Рахимов, Г.П. Сахаров, В.М. Хрулев, 2004 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с новым Государственным стандартом в цикл общепрофессиональных дисциплин введены две дисциплины «Материаловедение» и «Технология конструкционных материалов» вместо ранее существовавшей «Строительные материалы и изделия». Это произошло по причине включения специальностей строительного направления в число специальностей машиностроительного профиля. Как известно, в машиностроении основным материалом является металл; в строительстве перечень применяемых материалов чрезвычайно разнообразен, это: металл, бетон и железобетон, керамика, древесина, пластмассы, стекло и др. Кроме того применяются материалы функционального назначения: тепло-, гидроизоляционные, акустические, отделочные, антикоррозийные которые никак не подходят к указанным дисциплинам.

Дисциплина «Строительные материалы» для подготовки инженеров-строителей преподается более ста лет. За прошедший век в России было издано 25 оригинальных учебников по общему курсу «Строительные материалы», с таким же названием выходят научно-технические журналы, справочники, действуют ученые советы по присуждению ученых степеней и т.д.

Теперь в связи с новым Госстандартом строительных материалов как бы не будет, хотя подготовка инженеров-строителей по сути осталась прежней и как бы не называлась дисциплина, строительные материалы будут преподаваться. В связи с указанным третье издание учебника называется «Строительные материалы» (Материаловедение и Технология).

Курс «Строительные материалы» в учебном плане подготовки строителей является одной из первых инженерных дисциплин, которая создает необходимую базу для изучения других: строительные конструкции, технология строительного производства, экономика и организация строительства, архитектура 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. Это связано с внедрением разных видов подготовки специалистов, что дает возможность отбора теоретических и практических положений по важнейшим материалам (для каждого вида образования).

В методическом плане учебник построен таким образом, чтобы на основе элементов теории композиционных материалов показать, что большинство традиционных природных и искусственных материалов по своей структуре можно отнести к композитам и дальнейшее создание новых материалов для строительства с улучшенными физико-механическими свойствами возможно с использованием этой теории, что доказывается, созданием современных композитов для других областей техники, как например, ракето- и самолетостроение и др.

Классифицируются строительные материалы по роду сырья, из которого производятся материалы, общности технологического процесса их изготовления, функциональному назначению и областям применения и др. В той или иной степени эти классификации представлены в учебнике по принципу того, что 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.

Текст изложен в соответствии с мировой тенденцией развития строительных материалов и акцент делается не на те или иные направления, выдвинутые конъюнктурными соображениями, а на те, что способствуют рентабельности и прогрессу строительной техники.

С учетом становления 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 межвузовским коллективом профессоров: В.Г. Микульским, Г.И. Горчаковым, В.В. Козловым, Л.П. Орентлихер, Г.П. Сахаровым (Московский государственный строительный университет), В.Н. Куприяновым, Р.З. Рахимовым (Казанская государственная архитектурно-строительная академия), В.М. Хрулевым (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет).

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность за помощь в издании учебника члену правления объединенной международной группы «Кнауф» д-ру Хайнеру Гамму, за полезные замечания по содержанию учебника чл.-кор. РАН д.т.н. проф. Б.В. Гусеву, проф. В.Е. Байеру (МАРХИ).

ВВЕДЕНИЕ

Значение курса "Строительные материалы" в общей подготовке строителей важно потому, что ни одно сооружение нельзя правильно спроектировать, построить и эксплуатировать без наличия соответствующих строительных материалов и всестороннего знания их свойств.

Стоимость материалов в общих затратах на строительство составляет не менее половины, для уникальных зданий и сооружений может быть и больше. Промышленность строительных материалов является наиболее емкой, ежегодно в стране перерабатывается для этих целей более млрд. т различных компонентов. Грузовой железнодорожный транспорт примерно на четверть загружен перевозкой строительных материалов, речной - более чем на половину. 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 экономии стоимости строительства следует использовать материалы, производимые вблизи строящегося объекта. Целесообразно и промышленность строительных материалов организовать как можно ближе к сырьевой базе. Тем самым максимально используя, как принято говорить, местные строительные материалы. Стоимость строительных материалов включает различные факторы, но все должно приводиться к рентабельности и конкурентоспособности. Сюда можно отнести и качество изделий, долговечность их работы, теплоэнергетические затраты на производство, возможность переработки отходов и даже экологические аспекты, которые в конечном итоге сказываются на экономике производства, региона, страны в целом. Если все не предусматривать, то первоначальная небольшая стоимость материала может во времени обернуться значительными расходами на ремонт, реконструкцию, восстановление окружающей среды и т.п.

Все материалы и изделия соответствуют определенной государственной стандартизации (ГОСТ), разрабатываемой на основе новейших достижений науки и техники. В каждом стандарте имеются: точное определение материала, классификация по маркам и сортам, технические условия на изготовление, методы испытаний, условия хранения и транспортирования. ГОСТ является документом, имеющим силу закона. В обозначении ГОСТа первое число означает порядковый номер стандарта, второй - год его утверждения.

Кроме стандартов действует система нормативных документов, объединенная в Строительные нормы и правила (СНиП). СНиП - это свод нормативных документов по проектированию, строительству и строительным материалам, обязательный для всех организаций и предприятий.

Стандартизация на материалы и изделия велась десятилетиями и имеет положительное значение, как, например, для нашей бывшей централизованной системы с недостаточным выбором и дефицитом. Но возможно проводить специальную сертификацию параметров материалов, которые будут диктоваться, также и требованиями заказчика и покупателя.

В России производство строительных материалов возникло в далеком прошлом. 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 не быстрыми темпами и только подъем наблюдается при Петре I, который в связи с закладкой новых городов и крепостей поощрял производство строительных материалов.

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

В начале XX века 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 снизилось, многие цементные заводы и другие предприятия были разрушены.

С середины 20-х годов развернулась реконструкция старых и постройка новых заводов строительных материалов. В 30-ые годы были 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, так как повсеместно строятся промышленные предприятия.

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

Начиная с 50-годов, в стране постоянно увеличивается выпуск строительных материалов. К 80-ым годам по производству цемента, металла, сборного железобетона, асбоцемента, листового стекла мы намного опередили 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, теплоизоляцион-

ных материалов, заводского домостроения используют многие страны.

Ниже кратко изложены сведения о достижениях российских ученых, заложивших научные основы в ведущих отраслях производства строительных материалов и получивших международное признание.

Природные каменные материалы. Целенаправленная разведка каменных материалов и испытание их началось в России с 70-х годов прошлого столетия в связи со строительством железных дорог и мостов. Исследования свойств материалов велись под руководством И.А. Белелюбского (1845-1922) в Петербургском путейском институте 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.

Вяжущие материалы. Основоположником теории и практики промышленного производства портландцемента 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 вяжущих материалов и изделиям из них посвящены работы П.П. Будникова (1885-1968), А.В. Волженского (1899-1993), П.И.Боженова (1904-1999).

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

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

Железобетон. Большая заслуга в развитии железобетона принадлежит Н.А. Белелюбскому (1845-1922), под руководством которого были проведены первые в России испытания железобетонных конструкций и возведен ряд сооружений. В начале этого 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 нагрев и охлаждение металлов, указал способы управления этими процессами. Н.С. Курнаков (1860-1941) и А.А. Байков (1870-1946) 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. Проскуряков (1858 – 1926).

Пластмассы. Промышленность полимерных материалов опирается на открытии русских химиков. Огромное значение для развития синтеза сыграли исследования А.М. Бутлерова (1828-1886) творца 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), много давшего для теории и практики полимеризации этиленовых соединений, пользующихся большим распространением в промышленности пластмасс.

Большой вклад внесен отечественными учеными в популяризацию достижений стройматериальческой индустрии, и, в частности, в соз-

дании учебников. Приведем основных авторов учебников по общему курсу строительных материалов, изданных в XX веке:

1. *Эвальд В.В.* Строительные материалы, их изготовление, свойства и испытания. – С.-Пб.-Л.-М:1896-1933, 14-ое изд.

2. *Кинд В.А Окороков С.Д.* Строительные материалы, их получение, свойства и применение /Под ред. В.А. Кинда. - М.-Л.: Госстройиздат, 1934.

3. *Скрамтаев Б.Г.* Строительные материалы и изделия. - М.-Л.: ОНТИ, 1935, ч. 1.

4. *Скрамтаев Б.Г Галактионов А.А.* Строительные материалы и изделия. - М.-Л.: Госстройиздат, 1938, ч. II.

5. *Скрамтаев Б.Г., Герливанов Н.А., Мудров Г.Г.* Строительные материалы и изделия. - М.-Л.: Госстройиздат, 1938, ч. 1.

6. *Попов Н.А.* Строительные материалы. - М.-Л.: Госстройиздат, 1938.

7. *Скрамтаев Б.Г., Попов Н.А., Герливанов Н.А., Мудров Г.Г.* Строительные материалы и изделия. - М.: Стройиздат, 1950-1954, 7-ое изд.

8. *Воробьев В.А.* Строительные материалы /Под ред. П.Н. Григорьева. - М.: Госстройиздат, 1952, 1953.

9. *Воробьев В.А.* Строительные материалы. - М.: Высшая школа, 1962-1979, 6-ое изд.

10. *Слободяник И.Я.* Строительные материалы и изделия. - Киев: Вища школа, 1952-1973, 4-ое изд.

11. *Шейкин А.Е., Скавронский Б.И., Тихонов А.Я., Баскаков Н.С.* Строительные материалы. - М.: Трансжелдориздат, 1958.

12. *Волков М.И., Борщ И.М., Королев И.В.* Дорожно-строительные материалы. - М.: Транспорт, 1960-1975, 5-ое изд.

13. *Хигерович М.И., Горчаков Г.И., Домокеев А.Г., Ерофеева Е.А.* Строительные материалы /Под ред. М.И. Хигеровича. - М.: Высшая школа, 1966.

14. *Комар А.Г.* Строительные материалы. - М.: Высшая школа, 1967-1988, 5-ое изд.

15. *Микульский В.Г., Федосеев Г.П., Заслав О.Г.* Строительные материалы и работы. - М.: Колос, 1967.

16. *Шейкин А.Е.* Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1968, 1978.

17. *Воробьев В.А., Комар А.Г.* Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1971, 1976.

18. *Коровников Б.Д.* Строительные материалы. – М Высшая школа, 1974.

19. *Горчаков Г.И.* Строительные материалы. – М Высшая школа, 1981.

20. *Хигерович М.И., Горчаков Г.И., Рыбьев И.А., Домокеев А.Г., Ерофеева Е.А., Орентлихер Л.П., Попов Л.Н., Попов К.Н.* Строительные материалы / Под ред. Г.И. Горчакова. - М: Высшая школа, 1982.

21. *Домокеев А.Г.* Строительные материалы. - М.: Высшая школа, 1982,1989.

22. *Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М.* Дорожно-строительные материалы. - М.: Транспорт, 1983.

23. *Айрапетов Д.П.* Архитектурное материаловедение. - М.: Стройиздат, 1983.

24. *Горчаков Г.И., Баженов Ю.М.* Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1986.

25. *Рыбьев И.А., Арефьева Т.И., Баскаков Н.С., Казенова Е.П., Коровников Б.Д., Рыбьева Т.Г.* Общий курс строительных материалов / Под ред. *И.А. Рыбьева*. М.: Высшая школа, 1987.

26. *Микульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В., Куприянов В.Н., Орентлихер Л.П., Рахимов Р.З., Сахаров Г.П., Хрулев В.М.* Строительные материалы / Под ред. В.Г. Микульского. - М.: АСВ, 1996, 2000.

Эти учебники написаны преподавателями стройматериальческих кафедр, 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.

***

В начале XXI века задаются вопросом о будущих строительных материалах. 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 материа-

лами также будут металл, бетон и железобетон, керамика, стекло, древесина, полимеры. Строительные материалы будут создаваться на той же сырьевой основе, но с применением новых рецептур компонентов и технологических приемов, что даст более высокое эксплуатационное качество и соответственно 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 экономии энергетических ресурсов России.

РАЗДЕЛ 1. СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Глава 1. 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 сооружений, 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, ремонтопригодности 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.

Ремонтопригодность - свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Показателем ремонтопригодности 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 рентгено-структурного 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 водозатворения 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 взаимо-

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

действие между кварцевым песком и известью, в технологии силикатного кирпича применяют автоклавную обработку отформованного сырца насыщенным водяным паром с температурой не менее 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. Исключение 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 металлах); 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 строительные материалы этого типа гипс и ангидрид имеют невысокую прочность и твердость, не водостойки.

В сложных кристаллах, часто встречающихся в строительных материалах (кальцит, полевые шпаты), осуществляются и ковалентная и ионная связи. Внутри сложного иона CO_3^{2-} связь ковалентная, но сам он имеет с ионами Ca^{2+} ионную связь. Свойства подобных материалов весьма разнообразны. Кальцит $CaCO_3$ при достаточно высокой прочности обладает малой твердостью. У полевых шпатов сочетаются довольно высокие показатели прочности и твердости, хотя и уступающие кристаллам алмаза с чисто ковалентной связью.

Молекулярные кристаллические решетки и соответствующие им *молекулярные* связи образуются преимущественно в кристаллах тех веществ, в молекулах которых связи являются ковалентными. Кристалл этих веществ построен из целых молекул, которые удерживаются друг около друга сравнительно слабыми ван-дер-ваальсовыми силами межмолекулярного притяжения (как в кристаллах льда). При нагревании связи между молекулами легко разрушаются, поэтому вещества с молекулярными решетками обладают низкими температурами плавления.

Силикаты, занимающие особое место в строительных материалах, имеют сложную структуру, обусловившую их особенности. Так, волокнистые материалы (асбест) состоят из параллельных силикатных цепей, связанных между собой положительными ионами, расположенными между цепями. Ионные силы слабее ковалентных связей внутри каждой цепи, поэтому механические воздействия, недостаточные для разрыва цепей, разделяют такой материал на волокна. Пластинчатые минералы (слюда, каолинит) состоят из силикатных групп, связанных в плоские сетки.

Сложные силикатные структуры построены из тетраэдров SiO_4, связанных между собой общими вершинами (общими атомами кислорода) и образующих объемную решетку. Это дало основание рассмотреть их как неорганические полимеры.

Состав и свойства

Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составом.

Химический состав строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала: огнестойкости, биостойкости,

74785З
БИБЛИОТЕКА
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

механических и других технических характеристиках. Химический состав неорганических веществ (цемента, извести и др.) и каменных материалов удобно выражать количеством содержащихся в них оксидов (%). Основные и кислотные оксиды химически связаны между собой и образуют минералы, которые и определяют многие свойства материала.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в вяжущем веществе или в каменном материале. Например, в портландцементе содержание трехкальциевого силиката ($3CaO \cdot SiO_2$) составляет 45-60%, причем при большем его количестве ускоряется твердение, повышается прочность цементного камня.

Фазовый состав материала и фазовые переходы воды, находящиеся в его порах, оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации. В материале выделяют твердые вещества, образующие стенки пор, т.е. "каркас" материала, и поры, заполненные воздухом и водой. Если вода, являющаяся компонентом этой системы, замерзает, то образовавшийся в порах лед изменяет механические и тепломеханические свойства материала. Увеличение же объема замерзающей в порах воды вызывает внутренние напряжения, способные разрушить материал при повторных циклах замораживания и оттаивания.

§ 3. Физико-химические методы оценки состава и структуры

Свойства материалов в значительной степени определяются его составом и поровой структурой. Поэтому для получения материалов с заданными свойствами важно иметь четкие представления о процессах формирования структуры и возникающих новообразований, что изучается на микро и молекулярно-ионном уровне.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные физико-химические методы анализа.

Петрографический метод используется для исследования различных материалов: цементного клинкера, цементного камня, бетонов, стекла, огнеупоров, шлаков, керамики и т.д. Метод световой микроскопии направлен на определение характерных для каждого минерала оптических свойств, которые определяются его внутренним строением. Главные оптические свойства минералов - показатели светопреломления, сила двойного преломления, осность, оптический знак, цвет и др. Существует несколько модификаций данного метода: поляризационная микроскопия предназначена для изучения образцов в виде порошков в

специальных иммерсионных аппаратах (иммерсионные жидкости обладают определенными показателями светопреломления); микроскопия в проходящем свете - для изучения прозрачных шлифов материалов; микроскопия в отраженном свете - полированных шлифов. Для проведения этих исследований применяют поляризационные микроскопы.

Электронная микроскопия применяется для исследования тонкокристаллической массы. Современные электронные микроскопы имеют полезное увеличение до 300000 раз, что позволяет видеть частицы размером 0,3-0,5 нм (1 нм = 10^{-9} м). Такое глубокое проникновение в мир малых частиц стало возможным благодаря использования в микроскопии электронных лучей, волны которых во много раз короче видимого света.

С помощью электронного микроскопа можно изучить: форму и размеры отдельных субмикроскопических кристаллов; процессы роста и разрушения кристаллов; процессы диффузии; фазовые превращения при термической обработке и охлаждении; механизм деформации и разрушения.

В последнее время применяются растровые (сканирующие) электронные микроскопы. Это прибор, в основу которого положен телевизионный принцип развертки тонкого пучка электронов (или ионов) на поверхности исследуемого образца. Пучок электронов взаимодействует с веществом, вследствие чего возникает целый ряд физических явлений, регистрируя датчиками излучения и подавая сигналы на кинескоп, получают рельефную картину изображения поверхности образца на экране (рис. 1.1) .

Рентгенографический анализ - это метод исследования строения и состава вещества путем экспериментального изучения дифракции рентгеновских лучей в этом веществе. Рентгеновские лучи представляют собой такие же поперечные электромагнитные колебания, как видимый свет, но с более короткими волнами (длина волны $0,05\text{-}0,25 \cdot 10^{-9}$ м). Получают их в рентгеновской трубке в результате столкновения катодных электронов с анодом при большой разности потенциалов. Применение рентгеновского излучения для исследования кристаллических веществ основано на том, что его длина волны сопоставима с межатомными расстояниями в кристаллической решетке вещества, которая является естественной дифракционной решеткой для рентгеновских лучей.

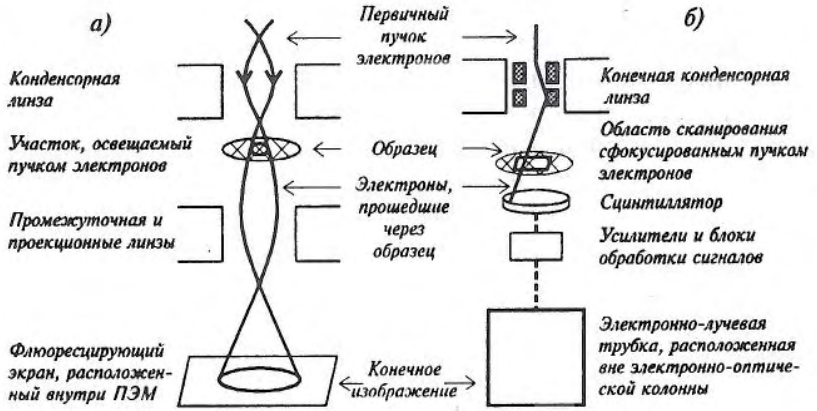


Рис. 1.1. Принципиальная схема электронного микроскопа:
а) просвечиваемого (ПЭМ); *б)* растрового

Каждое кристаллическое вещество характеризуется своим набором определенных линий на рентгенограмме. На этом основан качественный рентгенофазовый анализ, задача которого состоит в определении (идентификации) природы кристаллических фаз, содержащихся в материале. Порошковая рентгенограмма полиминерального образца сравнивается либо с рентгенограммами составляющих минералов, либо с табличными данными (рис. 1.2).

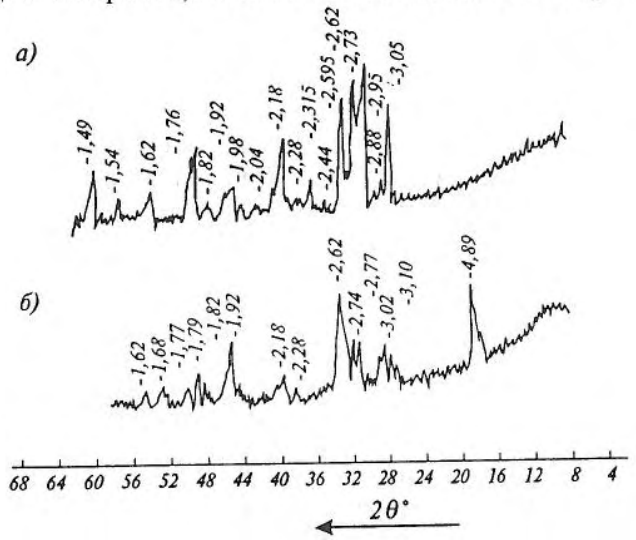


Рис. 1.2. Рентгенограммы образцов:
а) цемента; *б)* цементного камня

Рентгенофазовый анализ используется для контроля сырья и готовой продукции, для наблюдения технологических и процессов, а также для дефектоскопии.

Дифференциально-термический анализ используется для определения минерально-фазового состава строительных материалов (ДТА). Основа метода в том, что о фазовых превращениях, происходящих в материале, можно судить по сопровождающим эти превращения тепловым эффектам. При физических и химических процессах превращения вещества энергия в виде теплоты может поглощаться или выделяться из него. С поглощением тепла идут, например, такие процессы, как дегидратация, диссоциация, плавление - это эндотермические процессы.

Выделение тепла сопровождают окисление, образование новых соединений, переход из аморфного состояния в кристаллические - это экзотермические процессы. Прибором для ДТА являются дериватографы, которые в процессе анализа записывают четыре кривых:

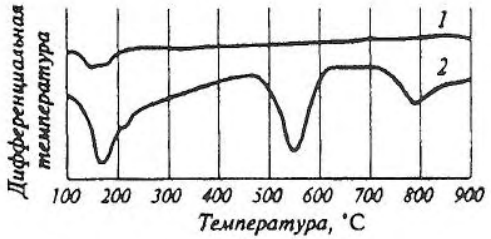


Рис. 1.3. Термограммы цемента:
1 - негидратированного; 2 - гидратированного в течение 7 сут

простую и дифференциальную кривые нагревания, и соответственно кривые потери массы. Суть ДТА в том, что поведение материала сравнивается с эталоном, веществом не испытывающим никаких тепловых превращений. Эндотермические процессы дают на термограммах впадины, а экзотермические - пики (рис. 1.3).

Спектральный анализ - физический метод качественного и количественного анализа веществ, основанный на изучении их спектров. При изучении строительных материалов используется в основном инфракрасная (ИК) спектроскопия, которая основана на взаимодействии исследуемого вещества с электромагнитным излучением в инфракрасной области. ИК-спектры связаны с колебательной энергией атомов и энергией вращения молекул и являются характерными для определения групп и сочетаний атомов.

Приборы-спектрофотометры позволяют автоматически регистрировать инфракрасные спектры (рис. 1.4).

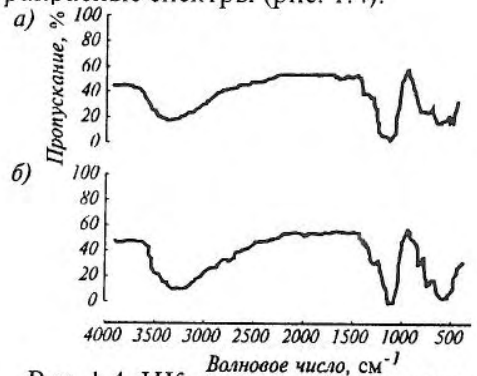


Рис. 1.4. ИК-спектры поглощения:
а) цементного камня без добавки;
б) цементного камня с добавкой

Кроме указанных методов существуют и другие, позволяющие определить специальные свойства веществ. Современные лаборатории оснащены многими компьютеризированными установками, позволяющими проводить многофакторный комплексный анализ практически всех материалов.

§ 4. Физические свойства

Параметры состояния

Истинная плотность ρ (г/см³, кг/м³) - масса единицы объема абсолютно плотного материала. Если масса материала m, а его объем в плотном состоянии V_a, то

$$\rho = m/V_a. \qquad (1.1)$$

Относительная плотность d выражает плотность материала по отношению к плотности воды (это безразмерная величина).

За немногими исключениями (металлы, стекло, мономинералы) строительные материалы пористы. Объем V пористого материала в естественном состоянии (т.е. вместе с заключенными в нем порами) слагается из объема твердого вещества V_a и объема пор $V_п$.

$$V = V_a + V_П.$$

Средняя плотность (г/см³, кг/м³, в последующем - плотность) есть масса единицы объема материала в естественном состоянии (объем определяется вместе с порами):

$$\rho_m = m/V_e. \qquad (1.2)$$

Значения плотности данного материала в сухом и влажном состоянии связаны соотношением:

$$\rho_{mв} = \rho_{mc}(1+W_M), \qquad (1.3)$$

где W_M - количество воды в материале, доли от его массы.

Плотность пористых материалов всегда меньше их истинной плотности. Например, плотность легкого бетона - 500-1800 кг/м³, а его истинная плотность - 2600 кг/м³.

Плотность строительных материалов колеблется в очень широких пределах: от 15 (пористая пластмасса - мипора) до 7850 кг/м³ (сталь).

Плотность и пористость распространенных строительных материалов даны в табл. 1.1.

Насыпная плотность ρ_H - масса единицы объема рыхло насыпанных зернистых или волокнистых материалов (цемента, песка, гравия, щебня, гранулированной минеральной ваты и т.п.). Например, истинная плотность известняка - 2700 кг/м³, его плотность 2500 кг/м³, а насыпная плотность известнякового щебня - 1300 кг/м³. По этим данным можно вычислить пористость известняка и пустотность щебня, пользуясь приведенными ниже формулами.

Структурные характеристики

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью, распределением пор по их радиусам, средним радиусом пор и удельной внутренней поверхностью пор.

Пористость $П$ есть степень заполнения объема материала порами:

$$П = V_П/V.$$

Пористость выражают в долях от объема материала, принимаемого за 1, или в % от объема.

Экспериментальный (прямой) метод определения пористости основан на замещении порового пространства в материале сжиженным гелием или другой средой.

Таблица 1.1

Показатели плотности, пористости и теплопроводности (средние значения) для ряда строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, г/см³	Средняя плотность, г/см³	Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м·°С
Бетон:				
тяжелый	2,6	2,4	10	1,16
легкий	2.6	1,0	61,5	0,35
ячеистый	2.6	0,5	81	0,2
Кирпич:				
обыкновенный	2,65	1,8	32	0,8
пустотелый	2,65	1,3	51	0,55
Природные камни:				
гранит	2,7	2,67	1,4	2,8
пеностекло	2,7	1,40	52	0,5
Стекло:				
оконное	2,65	2,65	0,0	0,58
пеностекло	2,65	0,30	88	0,11
Полимерные материалы:				
стеклопластик	2,0	2,0	0,0	0,5
мипора (вспененный полимер)	1,2	0,015	98	0,03
Древесные материалы:				
сосна	1,53	0,5	67	0,17
древесноволокнистая плита	1,5	0,2	86	0,06

Экспериментально-расчетный метод определения пористости использует найденные опытным путем значения плотности (%) высушенного материала

$$П = (1 - \rho_m/\rho) \cdot 100. \qquad (1.4)$$

Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах: от 0 до 98% (табл. 1.1).

Коэффициент плотности - степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{пл} = \rho_m/\rho. \qquad (1.5)$$

В сумме $П+K_{пл} = 1$ (или 100 %), т.е. высушенный материал можно представить состоящим из твердого каркаса, обеспечивающего прочность, и воздушных пор.

Открытая пористость $П_О$ равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к объему материала V:

$$П_о = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}}, \qquad (1.6)$$

где m_1 *и* m_2 - масса образца соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии.

Открытые поры материала сообщаются с окружающей средой и могут сообщаться между собой, поэтому они заполняются водой при обычных условиях насыщения, например при погружении образцов материала в ванну с водой. Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость.

Закрытая пористость $П$, равна:

$$П_з = П - П_О.$$

Пористый материал обычно содержит и открытые, и закрытые поры; увеличение закрытой пористости за счет открытой повышает его долговечность. Однако в звукопоглощающих материалах и изделиях умышленно создается открытая пористость и перфорация, необходимые для поглощения звуковой энергии.

В современных поромерах измерение пористости автоматизировано, и результат выдается в готовом виде в цифровой и графической формах.

Все свойства материала определяются его составом и строением и прежде всего величиной и характером пористости. Это видно из данных табл. 1.1, в которой попарно сопоставлены плотные и пористые материалы, имеющие в основном общий химический состав.

Гидрофизические свойства

Гигроскопичностью называют свойство капиллярно-пористого материала поглощать водяной пар из влажного воздуха. Поглощение влаги из воздуха обусловлено полимолекулярной адсорбцией водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсацией. Этот физико-химический процесс называется с о р б ц и е й и является обратимым. Древесина, тепло-

изоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью.

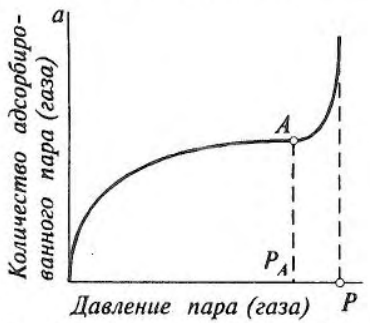


Рис.1.5. Изотерма адсорбции (при $P>P_A$ круто поднимается вверх вследствие капиллярной конденсации)

С повышением давления водяного пара (т.е. с увеличением относительной влажности воздуха при постоянной температуре) возрастает сорбционная влажность данного материала (рис. 1.5)

Кривая, выражающая зависимость количества адсорбируемого газа от давления, после насыщения внутренней поверхности пор стремится к прямой, параллельной оси абсцисс (точка *A*).

Вследствие процессов адсорбции и капиллярной конденсации водяного пара из атмосферы влажность пористых строительных материалов даже после их длительной выдержки в воздухе достаточно велика. Так, равновесная влажность воздушно-сухой древесины составляет 12-18%, стеновых материалов 5-7% по массе. Увлажнение сильно увеличивает теплопроводность теплоизоляции, поэтому стремятся предотвратить увлажнение, покрывая плиты утеплителя гидроизоляционной пленкой.

Капиллярное всасывание воды пористым материалом происходит, когда часть конструкции находится в воде. Так, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Чтобы не было сырости в помещении, устраивают гидроизоляционный слой, отделяющий фундаментную часть конструкции стены от ее наземной части.

Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия воды в материале, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

Высоту h поднятия жидкости в капилляре определяют по формуле:

$$h = 2\sigma \cos\theta/(r\rho g), \qquad (1.7)$$

где σ - поверхностное натяжение; θ - краевой угол смачивания; r - радиус капилляра; ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

Поры в бетоне и других материалах имеют неправильную форму и изменяющееся поперечное сечение, поэтому приведенная формула годна лишь для качественного рассмотрения явления; высоту всасывания воды определяют, применяя метод "меченых атомов", либо по изменению электропроводности материала.

Объем воды, поглощенной материалом путем капиллярного всасывания за время t, в начальной стадии подчиняется параболическому закону:

$$V^2 = Kt, \qquad (1.8)$$

где K - константа всасывания.

Уменьшение интенсивности всасывания отражает улучшение структуры материала (например, бетона) и повышение его морозостойкости.

Водопоглощение пористых материалов (бетона, кирпича и др.) определяют по стандартной методике, выдерживая образцы в воде. Температура используемой воды должна быть 20±2°С. Водопоглощение, определяемое погружением образцов материала в воду, характеризует в основном открытую пористость, так как вода не проникает в закрытые поры. К тому же при извлечении образцов из ванны вода частично вытекает из крупных пор, поэтому водопоглощение обычно меньше пористости. Например, пористость легкого бетона может быть 50-60 %, его водопоглощение составляет 20-30 % объема.

Водопоглощение определяют по объему и массе.

Водопоглощение по объему W_o (%) - степень заполнения объема материала водой:

$$W_o = \frac{(m_в - m_c)}{V}100, \qquad (1.9)$$

где $m_в$ - масса образца материала, насыщенного водой (г), m_c - масса образца в сухом состоянии (г).

Водопоглощение по массе W_m (%) определяют по отношению к массе сухого материала:

$$W_m = \frac{(m_в - m_c)}{m_c}100, \qquad (1.10)$$

Разделив почленно W_o на W_m, получим:

$$W_o = W_m d, \qquad (1.11)$$

причем объемная масса сухого материала выражается по отношению к плотности воды (безразмерная величина).

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах: гранита - 0,02 - 0,7 %, тяжелого бетона - 2-4 %, кирпича - 8-15 %, пористых теплоизоляционных материалов - 100 % и больше. Водопоглощение по массе высокопористых материалов может быть больше пористости, но водопоглощение по объему никогда не может превышать пористость.

Водопоглощение используют для оценки структуры материала, привлекая для этой цели коэффициент насыщения пор водой, равный отношению водопоглощения по объему к пористости:

$$K_H = W_o / П. \qquad (1.12)$$

Коэффициент насыщения может изменяться от 0 (все поры в материале замкнутые) до 1 (все поры открытые), тогда $W_o = П$. Уменьшение K_H (при той же пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости, что обычно проявляется в повышении морозостойкости.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала, увеличивается плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость понижаются.

Коэффициент размягчения K_p - отношение прочности материала, насыщенного водой R_B, к прочности сухого материала R_C:

$$K_P = R_B / R_C. \qquad (1.13)$$

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость материала, он изменяется от 0 (размокающие глины и др.) до 1 (металлы и др.). Природные и искусственные каменные материалы не применяют в строительных конструкциях, находящихся в воде, если их коэффициент размягчения меньше 0,8.

Водопроницаемость - это свойство материала пропускать воду под давлением.

Коэффициент фильтрации $K_Ф$ (м/ч) характеризует водопроницаемость материала

$$K_Ф = V_B a / [S (p_1 - p_2) t], \qquad (1.14)$$

где $K_Ф = V_B$ - количество воды (м³), проходящей через стенку площадью S = 1 м², толщиной a == 1 м за время t = 1 ч при разности

гидростатического давления на границах стенки $p_1 - p_2$ = 1 м вод. ст. Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости.

Водонепроницаемость материала (бетона) характеризуется маркой, обозначающей одностороннее гидростатическое давление, при котором бетонный образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания. Между коэффициентом фильтрации и маркой по водонепроницаемости имеется определенное соотношение: чем ниже $K_Ф$, тем выше марка по водонепроницаемости.

Водопроницаемость не допускают при строительстве гидротехнических сооружений, резервуаров, коллекторов, стен подвалов зданий. Стремятся применять достаточно плотные материалы с замкнутыми порами, устраивают гидроизоляционные слои, экраны.

Газо- и паропроницаемость. При возникновении у поверхностей ограждения разности давления газа происходит его перемещение через поры и трещины материала. Поскольку материал имеет макро- и микропоры, перенос газа может происходить одновременно вязкостным и молекулярным потоками.

Использование закона Дарси-Пуазейля* при небольших перепадах давлений, когда можно пренебречь изменением плотности газа, приводит к упрощенной формуле для определения массы газа V_ρ (плотностью ρ), прошедшего через стенку площадью S и толщиной a за время t при разности давлений на гранях стенки Δp:

$$V_\rho = K_Г S t \Delta p / a. \qquad (1.15)$$

Отсюда можно определить коэффициент газопроницаемости (г/м·ч·Па).

$$K_Г = a V \rho / S t \Delta p. \qquad (1.16)$$

При определении коэффициента газопроницаемости объем проходящего газа приводит к нормальным условиям.

Стеновой материал должен обладать определенной проницаемостью. Тогда стена будет "дышать", т.е. через наружные стены будет происходить естественная вентиляция, что особенно важно для жилых зданий, в которых отсутствует кондиционирование воздуха. Поэтому стены жилых зданий, больниц и т.п. не

---

* А.Дарси - французский инженер. Ж.Пуазейль (1799-1869) - французский врач и физик.

отделывают материалами, задерживающими водяной пар. Наоборот, стены и покрытия влажных производственных помещений необходимо защищать с внутренней стороны от проникновения водяного пара. В зимнее время внутри теплых помещений (текстильных фабрик, коммунальных предприятий, коровников, свинарников и т.п.) в 1 м³ воздуха содержится водяного пара значительно больше, чем снаружи, поэтому пар стремится пройти через стену или покрытие. Попадая в холодную часть ограждения, пар конденсируется, резко повышая влажность в этих местах. Создаются условия, способствующие быстрому разрушению материала (легкого бетона, кирпича) наружной ограждающей конструкции при действии мороза.

Паронепроницаемые материалы должны располагаться с той стороны ограждения, с которой содержание водяного пара в воздухе больше.

В ряде случаев необходима практически полная газонепроницаемость; это относится к емкостям для хранения газов, а также к специальным сооружениям, внутреннее пространство которых должно быть защищено от проникновения зараженного воздуха (например, газоубежища).

Паро- и газопроницаемость в большой степени зависят от структуры материала (плотности и пористости) (табл. 1.2).

Влажностные деформации. Пористые неорганические и органические материалы (бетоны, древесина и др.) при изменении влажности изменяют свой объем и размеры.

Усадкой (усушкой) называют уменьшение размеров материала при его высыхании. Она вызывается уменьшением толщины слоев воды, окружающих частицы материала, и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала.

Таблица 1.2

Относительные значения паро- и газопроницаемости (за 1 принята проницаемость кирпича)

Материал	Плотность, кг/м³	Пористость, %	Относительные значения	
			паропроницаемости	газопроницаемости
Кирпич керамический	1800	31	1	1
Легкий бетон	1800	31	0,8	0,9
Кирпич трепельный	1100	58	2,2	4,2
Известняк	2000	23	0,7	1,2
Бетон на гравии	2200	15	0,25	0,1

Набухание (разбухание) происходит при насыщении материала водой. Полярные молекулы воды, проникая в промежутки между частицами или волокнами, слагающими материал, как бы расклинивают их, при этом утолщаются гидратные оболочки вокруг частиц, исчезают внутренние мениски, а с ними и капиллярные силы.

Чередование высыхания и увлажнения пористого материала, часто встречающееся на практике, сопровождается попеременными деформациями усадки и набухания. Такие многократные циклические воздействия нередко вызывают трещины, ускоряющие разрушение. В подобных условиях находится бетон в дорожных покрытиях, в наружных частях гидротехнических сооружений.

Высокопористые материалы (древесина, ячеистые бетоны), способные поглощать много воды, характеризуются большой усадкой:

Вид материала	Усадка, мм/м
Древесина (поперек волокон)	30-100
Ячеистый бетон	1-3
Строительный раствор	0,5-1
Кирпич	0,03-0,1
Тяжелый бетон	0,3-0,7
Гранит	0,02-0,06

Усадка возникает и увеличивается, когда из материала удаляется вода, находящаяся в гидратных оболочках частиц и в мелких порах. Испарение воды из крупных пор не ведет к сближению частиц материала и практически не вызывает объемных изменений.

Морозостойкость - свойство насыщенного водой материала выдерживать попеременное замораживание и оттаивание. Морозостойкость материала количественно оценивается циклами и соответственно маркой по морозостойкости. За марку материала по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более 15 %; после испытания образцы не должны иметь видимых повреждений - трещин, выкрашивания (потери массы - не более 5 %). От морозостойкости зависит долговечность строительных материалов в конструкциях, подвергающихся действию атмосферных факторов и воды.

Марка по морозостойкости устанавливается проектом с учетом вида конструкции, условий ее эксплуатации и климата. Кли-

матические условия характеризуются среднемесячной температурой наиболее холодного месяца и числом циклов попеременного замораживания и оттаивания по данным многолетних метеорологических наблюдений.

Легкие бетоны, кирпич, керамические камни для наружных стен зданий обычно имеют морозостойкость 15, 25, 35. Однако бетон, применяемый в строительстве мостов и дорог, должен иметь марку 50, 100, 200, а гидротехнический бетон - 500.

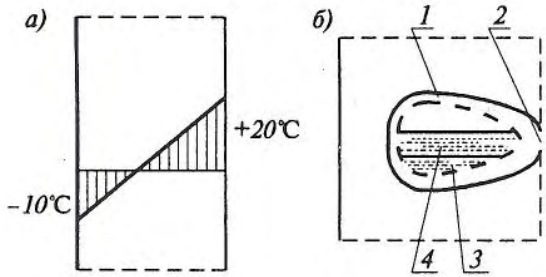


Рис. 1.6. Распределение температуры в наружной стене здания (а) и заполнение поры водой (б), выделенной вблизи фасадной грани:
1 - адсорбированная вода; *2* - устье поры; *3* - дождевая вода; *4* - конденсат

Рассмотрим причины разрушения пористого материала под влиянием совместного действия на него воды и мороза. Для примера возьмем материал, находящийся в ограждающей конструкции - бетон. Осенью наружная часть стены промерзает. В это время происходит миграция - перемещение пара "от тепла к холоду", т.е. пар стремится наружу, поскольку его давление при отрицательной температуре ниже, чем при положительной. Например, давление пара при +20°С составляет 2,33 кПа, а при -10°С оно равно только 0,27 кПа. Стремясь выйти наружу, водяной пар попадает в зону низких температур и конденсируется в порах возле наружной грани стены. Таким образом, поры наружной промерзающей части стены обводняются (рис. 1.6), причем вода прибывает сюда как снаружи (дождь с ветром), так и изнутри (миграция водяного пара). При наступлении даже небольших морозов (от -5 до -8°С) вода в крупных порах замерзает и при переходе увеличивается в объеме на 9% (плотность льда 0,918). Если коэффициент насыщения водой хотя бы части пор приблизится к 1, то в стенках пор возникнут большие растягивающие напряжения. Разрушение начинается в виде "шелушения" поверхности бетона, затем оно распространяется вглубь.

Воздействие на бетон попеременного замораживания и оттаивания подобно многократному воздействию повторной растягивающей нагрузки, вызывающей усталость материала.

Испытание морозостойкости материала в лаборатории проводят на образцах установленной формы и размеров (бетонные кубы, кирпич и т.п.). Перед испытанием образцы насыщают водой. После этого водонасыщенные образцы замораживают в холодильной камере при температуре от -15°С до -20°С, чтобы замерзла вода в тонких порах. Извлеченные из холодильной камеры образцы оттаивают в воде с температурой 15-20°С, что обеспечивает водонасыщенное состояние образцов.

Для оценки морозостойкости все шире применяют физические методы контроля и прежде всего импульсный ультразвуковой метод. С его помощью можно проследить изменение прочности или модуля упругости бетона в процессе циклического замораживания (рис. 1.7) и определить марку бетона по морозостойкости в циклах замораживания и оттаивания, число которых соответствует допустимому снижению прочности (ΔR) или модуля упругости (ΔE).

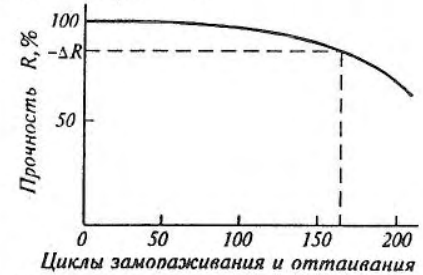


Рис.1.7. Кривая изменения прочности бетона при попеременном замораживании и оттаивании

Теплофизические свойства

Теплопроводностью называют свойство материала передавать тепло от одной поверхности к другой. Это свойство является главным как для большой группы теплоизоляционных материалов, так и для материалов, применяемых для устройства наружных стен и покрытий зданий.

Тепловой поток проходит через твердый "каркас" и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха λ = 0,023 Вт/(м·°С) меньше, чем у твердого вещества, из которого состоит "каркас" строительного материала. Поэтому увеличение пористости материала является основным способом уменьшения теплопроводности. Стремятся создавать в материале мелкие закрытые поры, чтобы снизить количество тепла, передаваемого конвенцией и излучением.

На практике удобно судить о теплопроводности по плотности материала (рис. 1.8). Известна формула В.П. Некрасова, связывающая теплопроводность λ [Вт/(м·°С)] с относительной плотностью каменного материала d:

$$\lambda = 1{,}16\sqrt{0{,}0196 + 0{,}22d^2} - 0{,}16. \qquad (1.17)$$

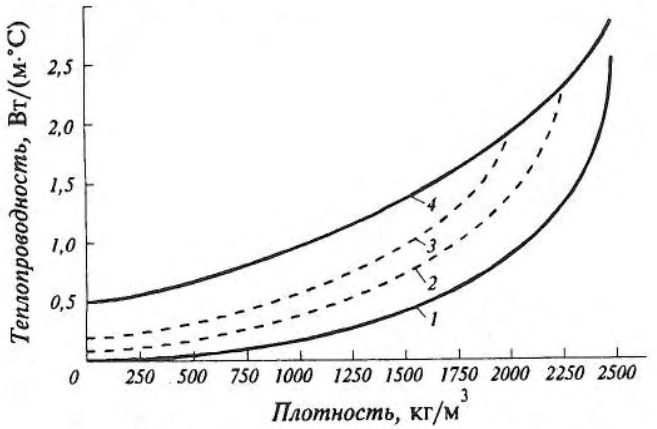


Рис .1.8. Зависимость теплопроводности неорганических материалов от плотности:
1 - сухие материалы; *2* и *3*- воздушно-сухие материалы с разной влажностью; *4* - материалы, насыщенные водой

Точное значение λ определяют для данного материала экспериментально.

Влага, попадающая в поры материала, увеличивает его теплопроводность, так как теплопроводность воды [0,58 Вт/(м·°С)] в 25 раз больше, чем теплопроводность воздуха. Замерзание воды в порах с образованием льда еще больше увеличивает λ, так как теплопроводность инея равна 0,1, а льда - 2,3 Вт/(м·°С), т.е. в 4 раза больше, чем воды. При повышении температуры теплопроводность большинства материалов возрастает и лишь у немногих (металлов, магнезитовых огнеупоров) она уменьшается. Показатели теплопроводности для некоторых материалов приведены в табл. 1.1.

Теплоемкость - это способность материала аккумулировать тепло при нагревании и выделять тепло при остывании; определяется количеством тепла, которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1°С. Теплоемкость стали - 0,48 кДж/(кг·°С), неорганических строительных материалов (бетонов, кирпича, природных каменных материалов) изменяется в пределах от 0,75 до 0,92 кДж/(кг·°С). Теплоемкость сухих органических материалов (например, древесины) - около 2,39-2,72 кДж/(кг·°С), вода имеет наибольшую теплоемкость - 4,19 кДж/(кг·°С), поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает.

Показатели теплоемкости разных материалов нужны для теплотехнических расчетов.

Огнеупорность - свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580°С и выше), не размягчаясь и не деформируясь. Огнеупорные материалы применяют для внутренней футеровки промышленных печей.

Тугоплавкие материалы размягчаются при температуре выше 1350°С.

Огнестойкость - свойство материала сопротивляться действию огня при пожаре в течение определенного времени. Она зависит от сгораемости материала, т.е. от его способности воспламеняться и гореть.

Несгораемые материалы - это бетон и другие материалы на минеральных вяжущих, кирпич керамический, сталь и др.

Однако необходимо учитывать, что некоторые несгораемые материалы при пожаре растрескиваются (гранит) или сильно деформируются (металлы) при температуре, начиная с 600°С. Поэтому конструкции из подобных материалов нередко приходится защищать более огнестойкими материалами.

Трудносгораемые материалы под воздействием огня или высокой температуры тлеют, но после прекращения действия огня их горение и тление прекращается (асфальтобетон, пропитанная антипиренами древесина, фибролит, некоторые пенопласты).

Сгораемые органические материалы, которые горят открытым пламенем, необходимо защищать от возгорания. Широко используют конструктивные меры, исключающие непосредственное воздействие огня на материал в условиях пожара. Применяют защитные вещества -антипирены.

Коэффициент линейного температурного расширения бетона и стали $10 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$, гранита - $8\text{-}10 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$, дерева - $20\text{-}10^{-6}$ °С$^{-1}$. При сезонном изменении температуры окружающей среды и материала на 50°С относительная температурная деформация достигает $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ или $1 \cdot 10^{-3}$, т.е. 0,5-1 мм/м. Во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают деформационными швами.

§ 5. Механические свойства

Нагрузки

Строительные материалы и конструкции подвергаются различным внешним силам - нагрузкам, которые вызывают в них деформации и внутренние напряжения. Нагрузки делятся на статические, действующие постоянно, и динамические, которые прикладываются внезапно и вызывают силы инерции.

На статические нагрузки рассчитываются здания и сооружения промышленного и гражданского строительства. Это нагрузки от оборудования, мебели, людей, самих конструкции и т.д. Ряд сооружений предназначен для восприятия не только статических, но и эксплуатационных динамических нагрузок: мосты, тоннели, дорожные и аэродромные покрытия, кузнечные и прессовые цеха, фортификационные и специальные объекты.

Нагрузки, преимущественно динамического характера, образуются от природных катастроф (землетрясения, ураганы, наводнения, селевые потоки, оползни и др.), а также от аварий на предприятиях (взрывы, удары).

Статические нагрузки действуют независимо от времени, динамические же главным образом зависят от длительности действия: от долей до нескольких секунд, вызывая колебания и смещения сооружений. Ударная волна ядерных взрывов может длиться до 2-3 секунд, а интенсивность на ее фронте при этом достигает сотен МПа, вот почему она обладает столь разрушительными последствиями.

Деформации и напряжения

Упругостью твердого тела называют его свойство самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы. Упругая деформация полностью исчезает после прекращения действия внешней силы, поэтому ее принято называть *обратимой*.

Пластичностью твердого тела называют его свойство изменять форму или размеры под действием внешних сил, не разрушаясь, причем после прекращения действия силы тело не может самопроизвольно восстанавливать свои размеры и форму, и в теле остается некоторая остаточная деформация, называемая пластической деформацией.

Пластическую или *остаточную деформацию*, не исчезающую после снятия нагрузки, называют необратимой.

Хрупкостью твердого тела называют его способность разрушаться без образования заметных остаточных деформаций.

Основными характеристиками деформативных свойств строительного материала являются: модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, объемный модуль упругости (модуль всестороннего сжатия), предельные деформации (растяжения, сжатия и др.), ползучесть. Другие характеристики могут определяться для специальных условий нагружения.

Рассмотрим связь строения и деформативных свойств материала.

Внешние силы, приложенные к телу, вызывают изменение межатомных расстояний, отчего происходит изменение размеров деформируемого тела на величину Δl в направлении действия силы (при сжатии - укорочение, при растяжении - удлинение).

Относительная деформация равна отношению абсолютной деформации Δl к первоначальному линейному размеру l тела:

$$\varepsilon = \Delta l / l. \qquad (1.18)$$

Деформация происходит вследствие удаления или сближения атомов, причем смещения атомов пропорциональны деформации тела.

Напряжение - мера внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под воздействием внешних сил.

Модуль упругости E (модуль Юнга)* связывает упругую деформацию и одноосное напряжение линейным соотношением, выражающим закон Гука**:

$$\varepsilon = \sigma / E. \qquad (1.19)$$

При одноосном растяжении (сжатии) напряжение определяется по формуле $\sigma = P/F$, где P - действующая сила; F - площадь первоначального поперечного сечения элемента.

Модуль упругости представляет собой меру жесткости материала. Материалы с высокой энергией межатомных связей (они

---

* Т.Юнг (1773-1829) , английский физик, врач и астроном.

** Р.Гук (1635-1703), английский естествоиспытатель, астроном, физик.

плавятся при высокой температуре) характеризуются и большим модулем упругости (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Зависимость модуля упругости *E* от температуры плавления материала

Материал	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	^{0}C	Материал	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	^{0}C
Карбид кремния	355	2800	Алюминий	70	660
Периклаз	246	2800	Свинец	15	327
Корунд	372	2050	Полистирол	3	300
Железо	211	1539	Каучук	0,07	300
Медь	112	1083			

Механические свойства материала характеризуются *диаграммой деформаций*, построенной на основании результатов испытания в координатах "напряжение-относительная деформация" (σ - ε).

Модуль упругости определяет тангенс угла наклона производной $d\sigma/d\varepsilon$ к оси деформаций. На рис. 1.9 представлены кривые σ - ε для строительных материалов: упругих, пластичных, хрупких и эластомеров.

Стекло деформируется как упругий хрупкий материал (рис.1.9, а). Поликристаллические изотропные материалы (металлы, кристаллические полимеры и др.) сохраняют упругость при значительных напряжениях; для многих из них характерно пластическое разрушение, отмеченное площадкой текучести *A-B* на диаграмме σ - ε (рис. 1.9, б). При хрупком же разрушении пластические деформации невелики (рис. 1.9, в).

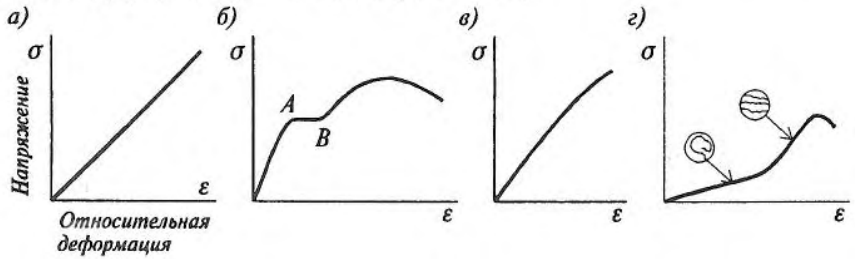


Рис. 1.9. Схема диаграмм деформации:
а) стекла; *б)* стали; *в)* бетона; *г)* эластомера

Нелинейное соотношение между напряжением и деформацией у некоторых материалов проявляется при относительно невысоких напряжениях. Так, у материалов с конгломератным строением (бетонов различного вида) оно отчетливо наблюдается уже при напряжениях, больших 0,2 предела прочности.

Упругая деформация эластомеров (каучуков) может превышать 100%. Первоначально для распрямления цепей молекул эластомера требуется низкое напряжение. По мере распрямления цепей молекул сопротивление дальнейшему деформированию возрастает, так как увеличение деформаций вызывает разрыв связей уже выпрямленных молекул (рис. 1.9, г).

Таким образом, диаграммы деформаций позволяют определить модуль упругости и установить его изменение в зависимости от уровня напряженного состояния.

Модуль упругости E связан с другими характеристиками материала посредством коэффициента Пуассона*. Одноосное растяжение σ_z, вызовет удлинение по этой оси $+\varepsilon$, и сжатие по боковым направлениям $-\varepsilon_x$ и $-\varepsilon_y$, которые у изотропного материала равны между собой.

Коэффициент Пуассона или коэффициент поперечного сжатия равен отношению:

$$\mu = -\varepsilon_x / \varepsilon_y .$$

Если бы объем материала при одноосном упругом нагружении оставался постоянным, то наибольшее теоретическое значение $\mu = 0{,}5$. Силы притяжения и отталкивания в материале различным образом зависят от изменения межатомного расстояния, поэтому значения коэффициента Пуассона реальных материалов сильно отличаются от теоретического и различаются между собой: у бетона - 0,17-0,2, полиэтилена - 0,4.

Объемный модуль упругости или модуль всестороннего сжатия (растяжения) *K* связан с модулем упругости следующим соотношением:

$$K = E/[3(1-2\mu)]. \qquad (1.20)$$

Модуль сдвига связан с модулем упругости посредством коэффициента Пуассона

$$G = E/[2(1+\mu)]. \qquad (1.21)$$

* С. Пуассон (1781-1840), французский ученый в области теоретической и небесной механики, математики и математической физики.

Поскольку μ = 0,2-0,3, G составляет 35-42% от E. Используя приведенную выше формулу для K, получим:

$$G = 3K(1 - 2\mu)/[2(1+\mu)]. \quad (1.22)$$

Экспериментально определив модуль упругости и коэффициент Пуассона, можно вычислить модуль сдвига и объемный модуль упругости, пользуясь приведенными формулами (вывод этих формул дается в курсе сопротивления материалов).

Прочность

Прочность - свойство материалов сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами (стесненная усадка, неравномерное нагревание и т.п.).

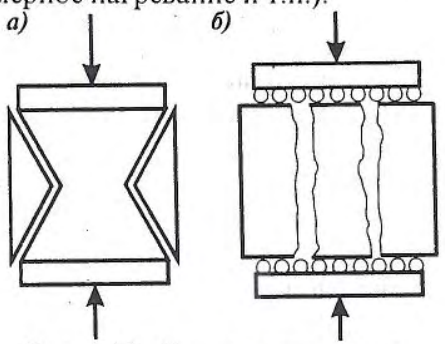


Рис. 1.10. Схема разрушения хрупких материалов:
а) сжатие куба; *б)* то же со смазанными опорными гранями

Прочность материала оценивают *пределом прочности* (временным сопротивлением) R, определенным при данном виде деформации. Для хрупких материалов (природных каменных материалов, бетонов, строительных растворов, кирпича и др.) основной прочностной характеристикой является *предел прочности при сжатии*. Поскольку строительные материалы неоднородны, то предел прочности определяют как средний результат испытания серии образцов (обычно не менее трех образцов). Форма и размеры образцов, состояние их опорных поверхностей существенно влияют на результаты испытания.

Например, у кубиков малых размеров предел прочности при сжатии оказывается выше, чем у кубиков больших размеров из того же материала. Призмы показывают меньшее сопротивление сжатию, чем кубы одинакового поперечного сечения. Это объясняется тем, что при сжатии образца возникает его поперечное расширение. Силы трения, возникающие между опорными гранями образца и плитами пресса, удерживают части образца, прилегающие к плитам, от поперечного расширения и, следовательно, от разрушения. Средние же части образца, испытывая поперечное расширение, разрушаются в первую очередь. Поэтому при

испытании кубов из хрупких материалов (бетона, раствора, камня и др.) получается характерная форма разрушения: образуются две усеченные пирамидки, сложенные вершинами (рис. 1.10). Если же хорошо смазать опорные грани куба (например, парафином) и тем самым уменьшить силы трения, то под нагрузкой куб вследствие свободного поперечного расширения распадается на ряд слоев, разделенных вертикальными трещинами. При смазке прочность куба при сжатии составляет лишь 50% прочности того же образца с несмазанными поверхностями.

На результаты испытания влияет скорость нагружения образца. Если нагрузка возрастает быстрее, чем установлено стандартом, то результат получается завышенным, так как не успевают развиться пластические деформации.

Чем меньше время нагружения, тем больше напряжение нужно приложить, чтобы материал разрушился. Таким образом, при динамической нагрузке предел прочности оказывается выше, чем при статической, и степень этого превышения зависит от времени и скорости нагружения, и тогда коэффициент динамического упрочнения будет больше единицы:

$$K_{д.у.} = \frac{R_д}{R_{ст}}. \quad (1.23)$$

Приведенные примеры говорят о том, что показатели прочности строительного материала, используемые в качестве характеристик его качества, являются условными величинами, получаемыми по стандартным методикам, единым для всей страны.

В строительных материалах, работающих в сооружениях, следует допускать напряжения, составляющие только часть предела прочности. Следовательно, допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \frac{R}{z}, \quad (1.24)$$

где z - запас прочности обычно 2-3 и выше.

В зависимости от прочности строительные материалы разделяются на марки. Марка материала по прочности является важнейшим показателем его качества. В нормативных документах марка указывается в кг/см^2; например, марки портландцемента М400, М500, М550 и М600. Чем выше марка, тем выше качество конструкционного строительного материала. Единая шкала марок охватывает все строительные материалы.

Предел прочности при осевом сжатии $R_{сж}$ (МПа) равен частному от давления разрушающей силы $P_{РАЗР}$ на первоначальную площадь поперечного сечения образца (куба, цилиндра, призмы):

$$R_{сж}=P_{РАЗР}/F. \qquad (1.25)$$

В табл. 1.4 систематизированы характерные образцы, применяемые для определения предела прочности строительных материалов при сжатии.

Предел прочности при осевом растяжении R_P,(МПа) используется в качестве прочностной характеристики стали, бетона, волокнистых и других материалов (табл. 1.4). В зависимости от соотношения $R_P / R_{СЖ}$ можно условно разделить материалы на три группы: материалы, у которых $R_P > R_{СЖ}$ (волокнистые - древесина и др.); $R_P \approx R_{СЖ}$ (сталь); $R_P < R_{СЖ}$ (хрупкие материалы - природные камни, бетон, кирпич.

Предел прочности при изгибе $R_{РИ}$ (МПа) определяют путем испытания образца материала в виде балочек на двух опорах. Их нагружают одной или двумя сосредоточенными силами до разрушения. Предел прочности условно вычисляют по той же формуле сопротивления материалов, что и напряжение при изгибе:

$$R_{РИ} = M/W, \qquad (1.26)$$

где M - изгибающий момент; W - момент сопротивления.

В табл. 1.5 приведены схемы испытания и соответствующие им расчетные формулы. Эти формулы, строго говоря, справедливы в пределах упругой работы материала и при одинаковом его сопротивлении сжатию и растяжению. Эти условия не выполняются в стадии разрушения материала. При испытании на изгиб кирпича, бетонных балочек разрушение начинается в нижней растянутой зоне, так как эти материалы имеют значительно меньшую прочность при растяжении, чем при сжатии. Поэтому по формулам вычисляют условное значение предела прочности при изгибе, являющееся стандартной прочностной характеристикой кирпича, строительного гипса, цемента, дорожного бетона.

Ударной вязкостью (динамической или ударной прочностью) называют свойство материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках. Она характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца, отнесенной к единице объема (Дж/м^3) или площади поперечного сечения образца (Дж/м^2). Сопротивление удару важно для материалов, используемых при устройстве фундаментов машин, полов промышленных зданий, дорожных покрытий и т.п.

Таблица 1.4

Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии

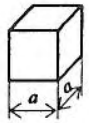
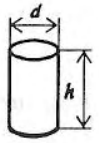
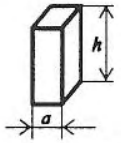
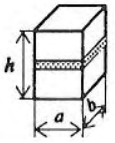
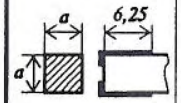
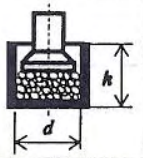
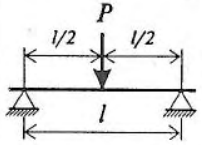
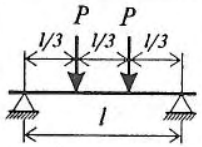
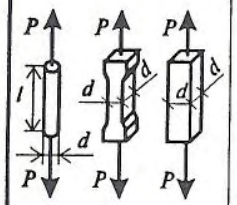
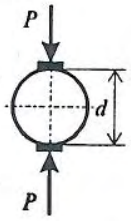
Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R=\frac{P}{a^2}$	Бетон Раствор	10×10×10; 15×15×15; 20×20×20 7,07×7,07×7,07;
			Природный камень	5×5×5 и др.
Цилиндр		$R=\frac{4P}{\pi d^2}$	Бетон	d=15; h=30
			Природный камень	d=h=5; 7; 10; 15
Призма		$R_{ПР}=\frac{P}{a^2}$	Бетон	a=10; 15; 20 h=40; 60; 80
			Древесина	a=2; h=3
Составной образец		$R=\frac{P}{S}$	Кирпич	a=12; b=12,3; h=14
Половина образца-призмы изготовленной, из цементно-песчаного раствора		$R=\frac{P}{S}$	Цемент	a=4; S=25 см^2
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$Dp=\frac{m_1-m_2}{m_1}100$	Крупный заполнитель для бетона	d=15; h=15

Таблица 1.5

Схемы стандартных методов определения прочности при изгибе и растяжении

Образец	Схема испытаний	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Испытание на изгиб				
Призма, кирпич в натурс		$R_{И}=\frac{3Pl}{2bh^2}$	Цемент	*4×4×16;*
			Кирпич	*12×6,5×25*
Призма		$R_{РИ}=\frac{Pl}{bh^2}$	Бетон	*15×15×15;*
			Древесина	*2×2×30*
Испытание на растяжение				
Стержень, восьмерка, призма		$R_P=\frac{4P}{\pi d^2}$	Бетон	*5×5×50; 10×10×80*
		$R_P=\frac{P}{a^2}$	Сталь	*d =1; l =5; l>10d*
Цилиндр		$R_{РР}=\frac{2P}{\pi dl}$	Бетон	*d =15*

Удельная прочность (коэффициент конструктивного качества) материала равна отношению показателя прочности R (МПа) к относительной плотности (безразмерная величина):

$$R_y = R/d \qquad (1.27)$$

Следовательно, это прочность, отнесенная к единице плотности. Лучшие конструктивные материалы имеют высокую прочность при малой собственной плотности.

Для некоторых материалов значения R_y приведены ниже: для стеклопластика - 450/2 = 225 МПа, древесины (без пороков) - 100/0,5 = 200 МПа, стали высокопрочной - 1000/7,85 = 127 МПа, стали - 390/7,85 = 51 МПа.

Для каменных материалов значения R_y составляют: для легкого конструкционного бетона - 40/1,8 = 22,2 МПа, тяжелого бетона - 40/2,4 = 16,6 МПа, легкого бетона - 10/0,8 = 12,5 МПа, кирпича - 10/1,8 =5,56 МПа.

Повышения R_y можно добиться снижением плотности материала или увеличением его прочности.

Теоретическая прочность однородного материала характеризуется напряжением, необходимым для разделения двух примыкающих друг к другу слоев атомов. Теоретическую прочность R_{TEOP} получают из условия, что в момент разрушения вся энергия упругой деформации, накопленная в объеме между двумя слоями атомов, переходит в поверхностную энергию двух вновь образовавшихся при разрушении поверхностей:

$$R_{TEOP} = \sqrt{E\Э / a}, \qquad (1.28)$$

где E - модуль упругости; Э - поверхностная энергия твердого тела на 1 см^2, a - межатомное расстояние (в среднем $2 \cdot 10^{-8}$ см).

Теоретическая прочность материала тем выше, чем больше модуль упругости и поверхностная энергия и чем меньше межатомное расстояние.

Согласно приведенному выражению прочность твердого тела должна находиться между значениями $E/5$ и $E/10$. Например, теоретическая прочность стали 30000 МПа, в то время как прочность обычной стали около 400 МПа, а специальной проволоки - 3000 МПа. Теоретическая прочность стекла при комнатной температуре - 14000 МПа, прочность на растяжение тонких стеклянных волокон (толщиной 3-5 мкм) - 3500-5000 МПа, а обыкновенного стекла - только 70-150 МПа. Используется сравнительно небольшая доля потенциальной прочности материала: прочность понижается благодаря наличию пор, трещин и дефектов структуры материала.

Прочность материала одного и того же состава зависит от его пористости. На рис. 1.11 представлен график прочности цементного бетона, показывающий, что увеличение пористости с 12,4 до 15,2% снизило прочность при сжатии с 37,5 до 26 МПа. Подобная зависимость характерна и для других материалов (известняка, керамических материалов и пр.).

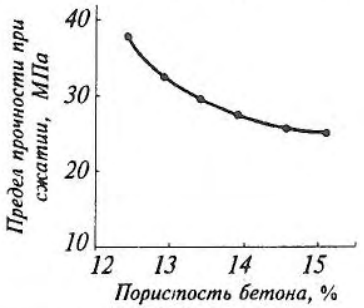


Рис. 1.11. Кривая зависимости прочности цементного бетона от пористости

Реальные кристаллические материалы имеют большее или меньшее количество точечных дефектов. Одни из них заключаются в том, что некоторые атомы или ионы смещены в другие положения и могут располагаться даже между узлами кристаллической решетки. Их нормальные места остаются свободными и затем замещаются другими ионами. Следовательно, в узлах решетки могут быть свободные места (в а к а н с и и). Другого рода дефекты возникают в результате размещения посторонних атомов или ионов примеси в узлах решетки, где они заменяют основное вещество (п р и м е с и з а м е щ е н и я), или между ними (п р и м е с и в н е д р е н и я).

Свойства кристаллических материалов зависят от д и с л о к а ц и й кристаллов.

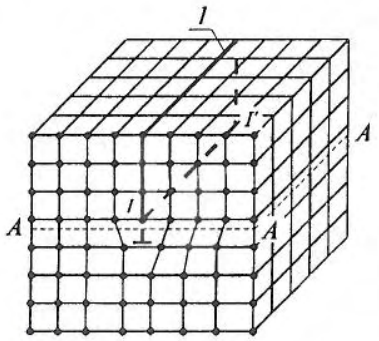


Рис. 1.12. Кривая дислокации в кристаллической решетке: *1* - экстраплоскость

Дислокация - это всегда одномерный (линейный) дефект кристаллической решетки, возникающий или в процессе образования кристалла, или в результате последующих механических, тепловых и других воздействий. Дислокации бывают краевые, винтовые и смешанные - криволинейные.

На рис. 1.12 схематически изображена краевая дислокация. Отклонение от идеального строения кристалла вызвано тем, что один слой атомов (он расположен на

рисунке в экстраплоскости) по каким-то причинам оказался незавершенным. Кромка 1-Г "лишнего" слоя атомов образует линейный дефект, называемый краевой дислокацией (она обозначена на рис. 1.11 знаком ⊥). По обе стороны от кромки экстраплоскости атомы сдвинуты на угол, соответствующий теоретической плоскости кристалла на сдвиг. Стоит приложить внешнее усилие, значительно меньшее теоретической прочности данного кристалла, чтобы осуществить сдвиг на одно межатомное расстояние в плоскости *А-А*, нормальной к экстраплоскости (рис. 1.13).

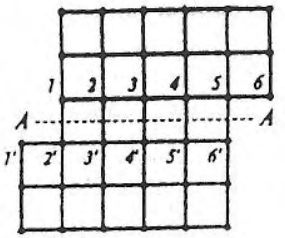


Рис. 1.13. Схема пластического сдвига путем движения дислокации

Продолжая нагружать кристалл, перемещаем дислокацию из одного ряда атомов в другой, пока не вытолкнем дислокацию на грань кристалла. Механизм скольжения, основанный на движении дислокации, может быть сопоставлен с перемещением по полу ковра с предварительно созданной складкой (рис. 1.14). При таком способе требуется значительно меньшее усилие, чем в случае перемещения ковра как единого целого.

Дислокационная теория рассматривает пластический сдвиг в кристаллических материалах как скольжение путем движения дислокации. Подвижность дислокации зависит от того, насколько легко межатомная связь может быть разрушена и вновь восстановлена; ведь каждый раз, когда дислокация перемещается на один шаг (межатомное расстояние), должны рваться старые связи и устанавливаться новые. В этом отношении предпочтительнее связи, обеспечивающие одинаковое притяжение во всех направлениях: металлическая и ионная. Дислокации в ковалентных кристаллах при нормальной температуре малоподвижны, так как ковалентная связь является направленной, наиболее прочной и жесткой.



Рис. 1.14. Складка ковра в качестве модели скольжения: *АА'-ВВ'*- перемещение ковра

Дислокации присутствуют почти во всех кристаллических материалах. Они значительно понижают прочность монокристаллов, но зато придают пластичность поликристаллическим телам с металлической связью, делают металл ковким, затрудняют распространение трещин. Теоретическая прочность железа на сдвиг около 7000 МПа, но практически кристалл очень чистого железа

сдвигается при напряжении, меньшем в 1000 раз, - около 7 МПа; для рядовых сталей прочность на сдвиг 150-250 МПа, для высокопрочных 1500 МПа. Доказательством, подтверждающим объяснение низкой прочности кристаллов движением дислокаций, являются результаты изучения механических свойств "усов". Эти нитевидные кристаллы различных материалов, выращенные без краевых дислокаций, способны претерпевать упругую деформацию до 5-6% без признаков пластического течения. Бездислокационные "усы" способны выдержать напряжения сдвига, достигающие 5% от модуля сдвига; это на несколько порядков больше, чем у обычных кристаллов. В реальности дислокаций убеждают и непосредственные наблюдения. Те места, где дислокации выходят на поверхность, выявляются с помощью химического травления в виде "оспинок" - ямок травления.

Плотность дислокаций (т.е. число дислокаций, пересекающих площадь в 1 см^2) может быть весьма велика - 10^7 - 10^8 (в отожженных металлах). При механических воздействиях дислокации перемещаются, взаимодействуют между собой и порождают новые дислокации, в особенности в местах концентрации напряжений. В результате этого их плотность возрастает до 10^{10} - 10^{13} (в сильно наклепанных металлах). Когда дислокаций много (больше некоторой критической плотности), они переплетаются (словно спутанные нитки), тормозят перемещение друг друга, в результате материал упрочняется. Однако при дальнейшем деформировании материал может сделаться хрупким.

Вакансии в кристаллической решетке, межузловые (внедренные) атомы, дислокации играют важную роль в процессах диффузии, повышают химическую активность, что используется, в частности, в технологии быстротвердеющих цементов. Однако наличие дислокаций и дефектов структуры в готовом материале снижает его стойкость, так как деформированные межатомные связи (как и места концентрации напряжений) более уязвимы для химических и физических воздействий среды. Следовательно, дислокации следует рассматривать как структурный фактор, регулирующий комплекс наиболее важных свойств кристаллических материалов.

Механика разрушения

Различают хрупкое и пластическое разрушение твердых тел. Хрупкое разрушение сопровождается малой предшествующей пластической деформацией, поэтому **хрупкость** определяют как свойство материала разрушаться "внезапно", не претерпевая существенной деформации. Хрупкость присуща не только кристаллическим, но и стеклообразным и даже полимерным материалам.

Разрушению **пластичных** (вязких) материалов предшествует изменение формы и большая деформация.

Большинство материалов при понижении температуры охрупчиваются, у них происходит переход от пластического разрушения к хрупкому. Так ведут себя битумные материалы, некоторые полимеры, металлы и др.

Хрупкое разрушение происходит в результате образования и быстрого роста одной или нескольких трещин при возрастающей нагрузке.

Трещина (как и надрез) вызывает концентрацию напряжений около ее вершины (рис. 1.15). В этом месте напряжение оказывается значительно большим, чем можно ожидать из простого уменьшения площади поперечного сечения.

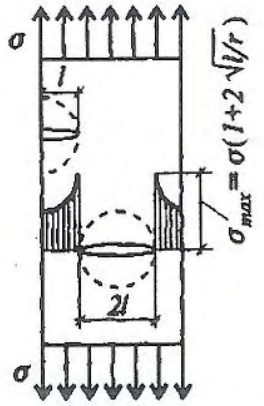


Рис. 1.15. Концентрация напряжений в пластине с трещиной

Напряжение σ на конце трещины зависит от номинального напряжения $\sigma_н$, длины (глубины) трещины l и радиуса кривизны в вершине трещины r.

$$\sigma_к = \sigma\left(1+2\sqrt{l/r}\right) \qquad (1.29)$$

Коэффициент концентрации напряжений $\sigma_к = \sigma\left(1+2\sqrt{l/r}\right)$ может быть равен 100 и даже 1000, если радиус вершины трещины соизмерим с радиусом атома, хотя глубина трещины лишь 0,1 и 10 мкм. Следовательно, местное напряжение может превысить 7000 МПа при номинальном (т.е. среднем по сечению) напряжений 35-100 МПа. Трещина как бы разрезает атомные цепочки, и значительная часть нагрузки, которую несли разрезанные атомные цепочки, приходится теперь на атомную связь у конца трещины. Перегруженная связь лопнет раньше других и положение ухудшится, так как следующее звено будет еще больше перегружено. Таким образом, трещина становится тем инструментом, с помощью которого приложенная извне слабая сила рвет прочные межатомные связи.

При распространении трещины материал вблизи трещины разгружается, и вследствие этого выделяется энергия деформации. Объем, в котором выделяется энергия, изображается на рис. 1.15 как половина объема цилиндра единичной высоты, численно

равного $\pi l^2/2$. Выделенная энергия $U_Д$ зависит от приложенного напряжения σ, модуля упругости E и глубины трещины l (половина длины внутренней трещины);

$$U_Д = -\frac{\pi l^2}{2E}\sigma^2. \qquad (1.30)$$

Образование двух новых поверхностей трещины требует затрат энергии

$$U_П = 2\,Э_1 l, \qquad (1.31)$$

где $Э_1$ - поверхностная энергия единицы площади поверхности.

Трещина будет самопроизвольно расти, если длина трещины превышает некоторую "критическую длину Гриффитса"*, при которой освобождающаяся энергия упругой деформации больше энергии образующихся новых поверхностей, тогда

$$\pi l\ \sigma^2/E = 2\,Э_1, \qquad (1.32)$$

откуда

$$\sigma = (2Э_1 E/\pi l)^{1/2}. \qquad (1.33)$$

Напряжение, необходимое для разрушения растянутой пластины, возрастает у материалов с высоким модулем упругости и большей поверхностной энергией, оно уменьшается при наличии более глубоких поверхностных трещин.

В данном материале для каждого напряжения существует своя критическая длина трещин. Трещины, глубина которых превышает $l_{КР}$, способны при данном напряжении σ самопроизвольно расти со скоростью, приближающейся к скорости распространения упругой волны (1,5-2 км/с).

Сжимающие усилия, в отличие от растягивающих могут передаваться через трещины, не вызывая концентрации напряжений. Поэтому хрупкие материалы всегда оказываются значительно прочнее при сжатии, чем при растяжении. Например, у природных каменных материалов (гранит и др.) предел прочности при растяжении составляет всего 1/40-1/60 предела прочности при сжатии. Хрупкие материалы также плохо сопротивляются удару и взрыву.

* А.А.Гриффитс (1893-1963) - английский ученый в области механики.

Торможение трещин при помощи создаваемых в материале внутренних поверхностей раздела используется в современных композиционных материалах.

Механизм торможения трещины основан на том, что при распространении трещины кроме напряжений, перпендикулярных трещине, достигающих максимума в ее вершине, возникает растяжение в направлении, параллельном трещине. Растягивающее напряжение, параллельное трещине, равно нулю в вершине трещины и достигает максимума впереди трещины на расстоянии одного-двух атомных размеров от ее вершины. В растянутом материале отношение максимального напряжения, параллельного трещине, к максимальному напряжению, направленному перпендикулярно ее поверхности, равно приблизительно 1/5. Если прочность сцепления на поверхности раздела больше 1/5 прочности материала, то поверхность не разрушится, трещина ее только пересечет и поведение материала не изменится, т.е. он останется хрупким. Если же прочность сцепления меньше 1/5 прочности на растяжение самого материала, то прежде чем трещина достигнет поверхности раздела, последняя будет разрушена на небольшом участке и образуется ловушка, способная остановить трещину (рис. 1.16).

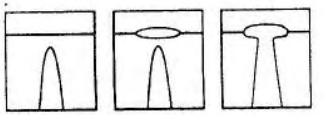


Рис.1.16.Схема торможения трещин

Кончик трещины, который был очень малым, при встрече с поверхностью раздела становится очень большим, устраняется концентрация напряжений в вершине трещины и тенденция к ее распространению (рис. 1.17).

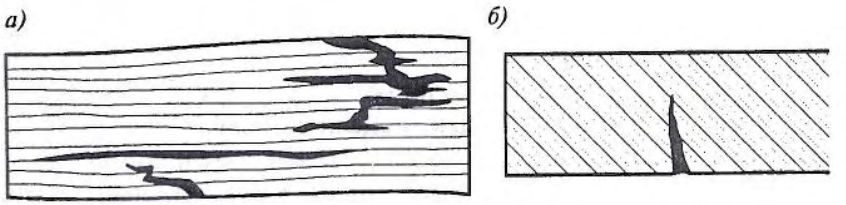


Рис. 1.17. Влияние внутренних поверхностей на торможение трещин:
а) волокнистый материал, содержащий внутренние поверхности;
б) однородный материал

Модели механических свойств

Механические свойства материалов моделируют, используя реологические факторы: упругость, пластичность и вязкость.

Реология - наука о деформациях и текучести вещества, исследующая различные деформации материалов в зависимости от напряжений.

Вязкость - способность материала поглощать механическую энергию при деформации образца.

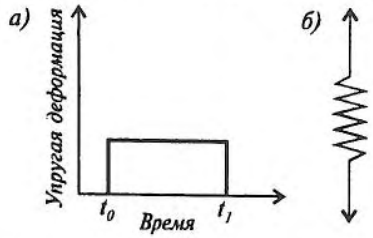


Рис.1.18. Модель идеального (подчиняющегося закону Гука) твердого тела:
а) график упругой деформации;
б) модель-пружина

Для моделирования поведения **упругого материала** используют пружину. Упругая деформация идеального тела возникает тотчас после приложения силы и не зависит от времени, как это показано на рис. 1.18. После снятия нагрузки деформация становится равной нулю, следовательно, деформация упругого твердого тела постоянна и обратима.

Идеальная (ньютоновская) **жидкость** подчиняется уравнению вязкого течения

$$\varepsilon_{ВЯЗК} = \tau\, t/\eta, \qquad (1.34)$$

где τ - напряжение сдвига (Па); t - время (с); η - вязкость (Па·с).

Деформация вязкого течения при постоянном напряжении сдвига возрастает пропорционально времени (рис. 1.19, а). Поведение жидкости моделируют демпфером (рис. 1.19, б), в котором поршень перемещается под действием приложенных сил, при этом жидкость протекает через кольцевой зазор между стенками цилиндра и поршнем.

Поведение материалов, сочетающих упругие и вязкие свойства, можно описать с помощью модели Максвелла*, состоящей из пружины и демпфера, соединенных последовательно (рис. 1.20, а) при постоянном напряжении. В первый момент времени t_0 сопротивление создается упругим элементом и возникает упругая деформация $\varepsilon_{УПР}$, сохраняющаяся неизменной при постоянном напряжении. В период времени от t_0 до t_1 деформация возрастает вследствие вязкого течения (оно моделируется демпфером, присоединенным к пружине). В момент времени t_1 при снятии нагрузки упругая составляющая деформации равна нулю, но вязкое смещение $\varepsilon_{ВЯЗК}$ сохраняется, так как оно необратимо. Следовательно, общая деформация ε асфальтобетона, пластика и т.п. содержит упругую и вязкую составляющую:

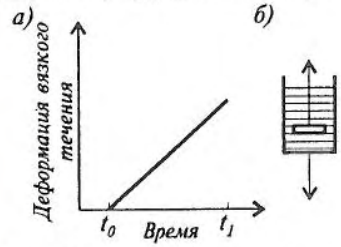


Рис. 1.19. Модель идеальной (ньютоновской) жидкости:
а) график деформации вязкого течения;
б) модель-демпфер

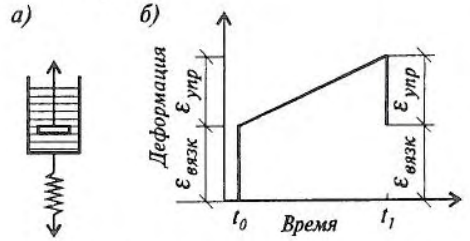


Рис. 1.20. Сочетание упругих и вязких свойств:
а) упругий и вязкий элементы расположены последовательно (модель Максвелла);
б) график упруго-вязких деформаций

$$\varepsilon = \varepsilon_{УПР} + \varepsilon_{ВЯЗК}.$$

В соответствии с законом Гука и приведенной выше формулой для $\varepsilon_{ВЯЗК}$ получаем следующее уравнение упруго-вязкой деформации:

$$\varepsilon = \sigma/E + \sigma\, t/\eta, \qquad (1.35)$$

$$\varepsilon = \sigma\,(1/E + t/\eta). \qquad (1.36)$$

Соответствующий график приведен на рис. 1.20, б. Примером вязкого течения является след шин, вдавившихся в асфальтовое покрытие дороги. Он напоминает о повышенной склонности к вязкому течению материала покрытия в жаркую погоду. При высокой температуре вязкое течение проявляется у стекла, металла и других твердых материалов.

Релаксация напряжений

Релаксация - свойство материала самопроизвольно снижать напряжения при условии, что начальная величина деформации остается неизменной.

Модели деформации твердых тел дают возможность получить количественную характеристику скорости релаксационных явлений, протекающих в полимерных и других строительных мате-

* Д.Максвелл (1831-1879), английский физик, создатель классической электродинамики.

риалах. Если быстро деформировать тело (например, полимер), сохраняя деформацию постоянной, то напряжение постепенно уменьшается. Деформация вызывает перестройку внутренней структуры тела, и требуется некоторый промежуток времени, пока все частицы тела придут в равновесие в соответствии с новыми условиями.

Элементарная модель релаксации напряжений при постоянной деформации представляет собой последовательное соединение пружины и демпфера (модель Максвелла). Для этой модели общая деформация ε равна сумме упругой и вязкой составляющих (рис.1.20)

$$\varepsilon = \varepsilon_{УПР} + \varepsilon_{ВЯЗК} = \text{const}. \qquad (1.37)$$

Следовательно,

$$d\varepsilon_{УПР}/dt = -\varepsilon_{ВЯЗК}/dt. \qquad (1.38)$$

Поскольку $\varepsilon_{УПР} = \sigma/E$, а $\varepsilon_{ВЯЗК} = -\sigma t/\eta$, получим

$$(d\sigma/dt)\cdot(1/E) = -\sigma/\eta, \qquad (1.39)$$

откуда

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = -\frac{E}{\eta}dt. \qquad (1.40)$$

Введем постоянную времени релаксации $\lambda = \eta/E$, тогда

$$\sigma = \sigma_0 e^{-t/\lambda}, \qquad (1.41)$$

где σ - напряжение по прошествии времени t; σ_0 - первоначальное напряжение. Из формулы видно, что релаксация напряжения следует экспоненциальному закону (рис. 1.21). Скорость релаксации напряжения характеризуется временем релаксации - промежутком времени, в течение которого напряжение уменьшается в e раз по сравнению с первоначальным (где e - основание натуральных логарифмов).

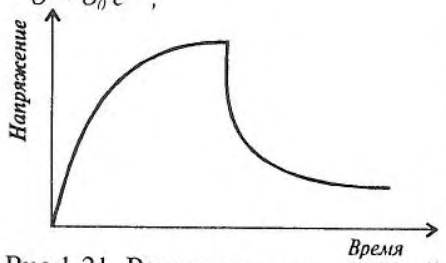


Рис.1.21. Релаксация напряжений по постоянной деформации

Деформативные свойства материалов зависят от температуры. При нагревании они размягчаются и переходят в пиропластическое (глина, стекло и др.) или каучукоподобное (линейные полимеры) состояние, затем плавятся и становятся жидкотекучими. Следовательно, в зависимости от температуры материал может

проявлять упругие, вязкоупругие и вязкие свойства. Для анализа деформаций материалов в температурном интервале, охватывающем эти три состояния, может быть использована модель, включающая три элемента: 1 - упругий; 2 - вязкоупругий; 3 - вязкий (рис. 1.22, а). Полная деформация этой модели равна сумме деформации каждого последовательно расположенного элемента:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3.$$

Поскольку каждый элемент модели функционирует раздельно, он характеризуется своими значениями E и η, поэтому

$$\varepsilon = \sigma/E_1 + \sigma/E_2\,(1 - e^{-tE2/\eta 2}) + \sigma t/\eta_3. \qquad (1.42)$$

На рис. 1.22, б представлено развитие деформации во времени. После прекращения действия напряжения, начиная с момента времени t_1, упругая ε_1 и вязкоупругая ε_2 составляющие деформации становятся равными нулю, а вязкая деформация ε_3 необратима.

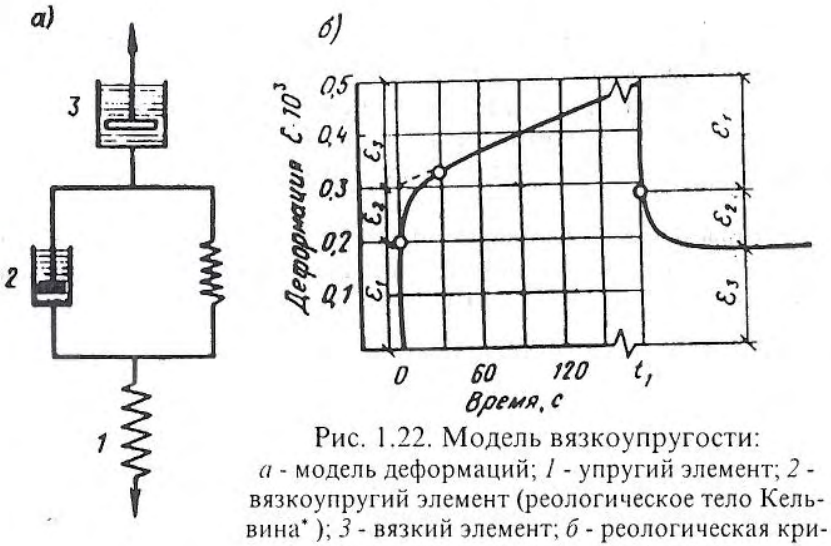


Рис. 1.22. Модель вязкоупругости:
а - модель деформаций; *1* - упругий элемент; *2* - вязкоупругий элемент (реологическое тело Кельвина*); *3* - вязкий элемент; *б* - реологическая кривая развития деформации во времени

Твердость, истираемость, износ

Твердостью называют свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела. Твердость

* У.Кельвин (1824-1907), лорд, титул, полученный английским физиком У.Томсоном за научные открытия.

природных каменных материалов оценивают шкалой Мооса, представленной десятью минералами, из которых каждый последующий своим острым концом царапает все предыдущие. Эта шкала включает минералы в порядке возрастающей твердости от 1 до 10:

1. Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$ - легко царапается ногтем.
2. Гипс $CaS0_4 \cdot 2H_20$ - царапается ногтем.
3. Кальцит $CaCO_3$ - легко царапается стальным ножом.
4. Флюорит (плавиковый шпат) CaF_2 - царапается стальным ножом под небольшим нажимом.
5. Апатит $Ca_5[PO_4]_3F$ - царапается ножом под сильным нажимом.
6. Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$
7. Кварц SiO_2
8. Топаз $Al_2[Si_4O][F,OH]_2$
9. Корунд Al_2O_3
10. Алмаз C

- легко царапают стекло, применяются в качестве абразивных (истирающих и шлифующих) материалов.

Твердость древесины, металлов, бетона и некоторых других строительных материалов определяют, вдавливая в них стальной шарик или твердый наконечник (в виде конуса или пирамиды). В результате испытания вычисляют число твердости $HB = P/F$, где F - площадь поверхности отпечатка.

От твердости материалов зависит их истираемость: чем выше твердость, тем меньше истираемость.

Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания и вычисляют по формуле (г/см²)

$$И = (m_1 - m_2)/F, \qquad (1.43)$$

где m_1 и m_2 - масса образца до и после истирания.

Сопротивление материала истиранию определяют, пользуясь стандартными методами: кругом истирания и абразивами (кварцевыми песком и наждаком). Это свойство важно для эксплуатации дорог, полов, ступеней лестницы и т.п.

Износом называют свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Износ определяют на образцах материалов, которые испытывают во вращающемся барабане со стальными шарами или без них. Показателем износа служит потеря массы пробы материала в результате проведенного испытания (в % от первоначальной массы).

Вопросы для самоконтроля

1. Какие существуют методы оценки для определения структуры материалов на микроуровне?
2. Какие числовые значения и размерности истинной и средней плотности, пористости, коэффициента плотности, теплопроводности и теплоемкости для тяжелого и ячеистого бетона, керамического кирпича и древесины?
3. Какие числовые значения прочности при сжатии, изгибе и растяжении с указанием размерности для тяжелого и ячеистого бетона, керамического кирпича и древесины?
4. Какие формы образцов и схемы испытаний используются для определения прочности материалов при сжатии, изгибе, растяжении?
5. Какие деформации в координатах напряжение-деформации показывают материалы упругие, пластичные, хрупкие?
6. Как можно моделировать механические свойства материалов?

Дополнительная литература

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. - М: Наука, 1979-1989, т. I-V.
2. *Смирнов А.Ф.* Сопротивление материалов. - М: Высшая школа, 1975.
3. *Глинка Н.А.* Общая химия. - Л.: Химия, 1985, 25-ое изд.
4. *Рейнер М.* Реология. - М., 1965.
5. *Горшков В.С.* Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. - М.: Высшая школа, 1981.
6. *Горчаков В.М., Мурадов Э.Г.* Основы стандартизации и управления качеством промышленности строительных материалов. - М., 1987.
7. *Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В.* Оценка качества строительных материалов / Под ред. К.Н. Попова. - М., Изд-во АСВ, 1999
8. *И.А. Рыбьев,* Строительное материаловедение – М. Высшая школа, 2002

Глава II. ПОНЯТИЕ О КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

§ 1. Общие сведения

Композиционные материалы представляют собой гетерофазные системы, получаемые из двух или более компонентов с сохранением индивидуальности каждого из них.

Один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объему, является матрицей. Другой компонент прерывный, разделенный в объеме композиции, считается упрочняющим или армирующим. Матричными материалами могут быть металлы, их сплавы, керамика, неорганические и органические вяжущие, полимеры. Упрочняющими компонентами чаще всего являются тонкодисперсные порошкообразные частицы или волокнистые материалы различной природы.

В композиционных материалах - композитах, разнородные компоненты создают синергетический эффект - новое качество материала, отличное от свойств исходных компонентов. В конструкционных композитах главное - это высокая удельная прочность (коэффициент конструктивного качества), превышающая аналогичную характеристику стали примерно в 15 раз.

Производство композитов в мире стремительно растет. В 1977 г. в Западной Европе и США было продано по 350 тыс. т композитов соответственно; в 1986 г. - уже по 1 млн. т, т.е. за 10 лет - утроение продукции. К 2000-2005 г.г. там ожидается годовое потребление композитов по 2,5-3,0 млн. т. Одновременно в передовых западных странах падает потребление стали. С учетом меньшей - в 4 раза массы, более высокого (в 2-3 раза) выхода при изготовлении готовых изделий, большей продолжительности эксплуатации (в 2-3 раза), 1,0 т композита может заменить теоретически 15-25 т, а практически 4-5 т стали.

Появление названия композиционных материалов связано с принципиально новым направлением в технике, когда были созданы технологии, позволяющие получать высокопрочные материалы, в основном, для авиа-, ракето- и машиностроения. Примером такого материала, применяемого и в строительстве, являются стеклопластики, состоящие из полимерной матрицы и стекловолокон. Следовательно, дальнейшее создание новых материалов для строительства возможно будет развиваться с использованием теории и технологии композиционных материалов. Назовем их истинными композитами в отличие от других, к которым можно отнести многие строительные материалы: бетон, железобетон, фибробетон, асбестоцемент, древесностружечные, древесноволокнистые плиты и др.

§ 2. Состав и строение композита

Механические и другие свойства композита определяются тремя основными параметрами: высокой прочностью упрочняющих компонентов, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица-упрочнитель. Соотношение этих параметров характеризует весь комплекс механических свойств материала и механизм его разрушения. Работоспособность композита обеспечивается, как правильным выбором исходных компонентов, так и рациональной технологией производства, обеспечивающей сохранение их первоначальных свойств.

Многообразие упрочняющих и матричных материалов, а также схем армирования позволяет направленно регулировать прочность, жесткость, уровень рабочих температур и другие свойства путем подбора состава, изменения соотношения компонентов и др.

Для волокнистых композиционных материалов существует несколько классификаций, например, материаловедческий (по природе компонентов); конструктивный (по типу арматуры и ее ориентации в матрице). Можно выделить несколько больших групп композитов: с полимерной матрицей (пластики), с металлической матрицей (металлокомпозиты), с керамической матрицей и матрицей из углерода.

В зависимости от природы армирующих волокон различают следующие композиты, например, на полимерной матрице: стеклопластики, углепластики, боропластики, органопластики и т.д. То же и на других матрицах.

Различают композиты и от способов армирования: компактно-образованные из слоев, армированных параллельно-непрерывными волокнами, армированные тканями с хаотическим и пространственным армированием.

В зависимости от вида армирования композиты могут быть разделены на две группы: дисперсно-упрочненные и волокнистые, которые отличаются структурой и механизмом образования высокой прочности.

Дисперсно-упрочненные композиты представляют собой материал, в матрице которого равномерно распределены мелкодисперсные частицы, оптимальное их содержание 2-4%. Но эффект упрочнения связан с размерами частиц и их сближением, т.е. концентрацией. Например, при упрочнении мелкими частицами

d = 0,001-0,1 мкм объемная концентрация может доходить до 15%; при частицах более 1,0 мкм объемная концентрация может быть 25% и более. При этом повышается прочность, твердость, теплостойкость, сохраняется эластичность (например, матрица - битум, каучук, полимер; упрочняющие частицы - мел, слюда, углерод, кремнезем, известняк). В таких материалах при нагружении всю нагрузку воспринимает матрица.

В волокнистых композитах высокопрочные волокна воспринимают основные напряжения при внешних нагрузках и обеспечивают жесткость и прочность композита. Особенность волокнистой композиционной структуры заключается в равномерном распределении волокон в пластичной матрице, объемная доля их может достигать 75% и более.

Армирующие волокна должны удовлетворять комплексу эксплуатационных и технологических требований. К первым относятся требования по прочности, жесткости, плотности, стабильности свойств в определенном температурном интервале, химической стойкости и т.п.

Теоретическая прочность материалов возрастает с увеличением модуля упругости и поверхностной энергии вещества и падает с увеличением расстояния между соседними атомными плоскостями (см. табл. 1.3 и формулу (1.28)).

Таким образом, высокопрочные твердые тела должны иметь высокие модули упругости и поверхностную энергию и возможно большее число атомов в единице объема. Этим требованиям удовлетворяют бериллий, бор, углерод, азот, кислород, алюминий и кремний. Наиболее прочные материалы всегда содержат один из этих элементов, а зачастую состоят только из этих элементов.

При создании волокнистых композитов применяются высокопрочные стеклянные, углеродные, борные и органические волокна, металлические проволоки, а также волокна и нитевидные кристаллы ряда карбидов, оксидов, нитридов и других соединений. Арматурные компоненты в композитах применяются в виде моноволокон, нитей, проволок, жгутов, сеток, тканей, лент, холстов.

К технологическим требованиям относятся такие, которые дают возможность создания высокопроизводительного процесса изготовления изделий на их основе. Важным требованием также является совместимость волокон с материалом матрицы, т.е. возможность достижения прочной связи волокно-матрица при сохранении исходных значений механических свойств компонентов.

Зависимости между деформациями и напряжениями различны в изотропных и анизотропных материалах. В изотропном упругом теле главные оси напряжений и деформаций совпадают, в анизотропном - нет. Если упрочнитель представляет собой уложенную в определенном порядке систему волокон, то модули упругости композита в различных направлениях могут существенно различаться. В таких анизотропных телах каждая компонента (матрица и упрочнитель) деформированного состояния зависит от каждой из компонент напряженного состояния. Следовательно, в анизотропном теле главные оси напряженного и деформированного состояний не совпадают.

Композиты с однонаправленной укладкой волокна называются **монотропными** (рис. 2.1). В монотропных композитах модули упругости и коэффициенты Пуассона имеют различные значения в направлении осей. Наиболее характерным видом анизотропии для композитов является ортотропия, обладающая симметрией относительно трех взаимно перпендикулярных плоскостей. Здесь, в зависимости от монотропии, оси X и Y неравномерны.

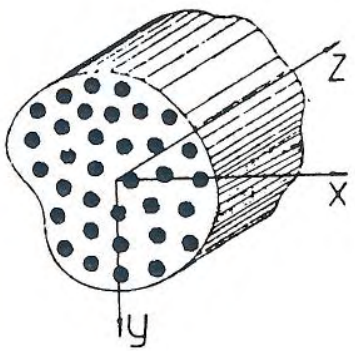


Рис. 2.1. Монотропный композит

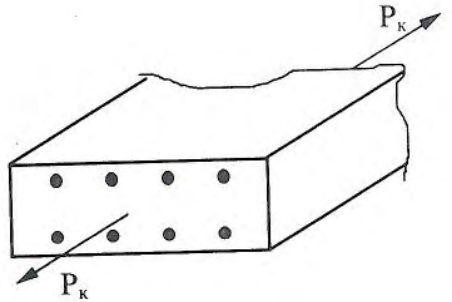


Рис. 2.2. Расчетная схема простой модели композита

Матричные материалы. Матрица обеспечивает монолитность композита, фиксирует форму изделия и взаимное расположение армирующих волокон, распределяет действующие напряжения по объему материала, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна и ее перераспределение при разрушении частиц волокон. Материал матрицы определяет метод изготовления изделий, возможность выполнения конструкций заданных габаритов и формы, а также параметры технических процессов и т.д. Требования, предъявляемые к матрицам, можно разделить на эксплуатационные и технологические. К эксплуатационным относятся требования, связанные с механическими и физико-химическими свойствами материала матрицы, обеспечивающими работоспособность композиции при действии различных эксплуатационных факторов. Технологические требования определяются процессами получения композита, т.е. совмещения армирующих волокон с матрицей и окончательного формирования изделия.

Целью технологических операций является обеспечение равномерного распределения волокон в матрице (без касания между собой) при заданном их объемном содержании; максимально возможное сохранение свойств волокон, главное - прочности; создание достаточно надежного взаимодействия на границе волокно-матрица.

Границы раздела. В первую очередь адгезионное (склеивающее) взаимодействие волокна и матрицы определяют уровень свойств композитов и их работу при эксплуатации. Локальные напряжения в композите достигают максимальных значений вблизи или непосредственно на границе раздела, где обычно и начинается разрушение материала. Граница раздела должна обеспечивать эффективную передачу нагрузки от матрицы на волокна. Адгезионная связь по границе раздела не должна разрушаться под действием термических и усадочных напряжений, вследствие различия в температурном коэффициенте линейного расширения матрицы и волокна или в результате химической усадки связующего при его отвердении. Защита волокон от внешнего воздействия также в значительной степени определяется адгезионным взаимодействием по границе раздела.

§ 3. Оценка матрицы и упрочнителя в формировании свойств композита

В **дисперсно-упрочненных** композитах частицы начинают оказывать упрочняющее действие тогда, когда они ограничивают деформацию матрицы посредством механического стеснения. Это есть функция отношения расстояния между частицами к их диаметру, а также упругих характеристик матрицы и частиц. Обычно модуль упругости композита E_K, матрица которого V_M упрочнена частицами $V_ч$, имеет меньшую величину, чем это следует по правилу смесей:*

$$E_K = E_M V_M + E_ч V_ч. \qquad (2.1)$$

Это уравнение дает данные, выраженные в виде относительной доли предельного модуля упругости. Поскольку модули упругости упрочненного частицами композита должны удовлетворять следующему соотношению (равенство напряжений в компонентах):

$$E_K = E_M E_ч / V_M E_ч + V_ч E_M. \qquad (2.2)$$

всякое положительное отклонение от этого уравнения должно означать стеснение матрицы, т.е. упрочняющее действие частиц.

В **волокнистых композитах**, как указывалось выше, включается два компонента - волокна и матрица, что дает высокую прочность на растяжение и изгиб. В этом убедимся, анализируя прочность волокнистого композита с помощью простой модели: выделенного из композита параллелепипеда объемом, равным единице, армированного волокнами, расположенными параллельно (рис.2.2).

Содержание волокна V_B и матрицы V_M дано в долях от объема композита, принятого за единицу, следовательно:

$$V_B + V_M = 1; \qquad V_M = 1 - V_B. \qquad (2.3)$$

Осевое растягивающее усилие P_K, воспринимаемое композитом, распределяется между двумя компонентами: волокном P_B и матрицей P_M:

$$P_K = P_B + P_M. \qquad (2.4)$$

---

* Правило смесей (аддитивность) - свойство, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величины его частей.

Переходя к напряжениям, получим распределение напряжения в композите (при $l = 1$)

$$\sigma_K = \sigma_B V_B + \sigma_M (1 - V_B). \quad (2.5)$$

В пределах упругой работы материала, согласно закону Гука,

$$\sigma_K = \varepsilon_B E_B V_B + \varepsilon_M E_M (1 - V_B). \quad (2.6)$$

Композит работает, как единый материал, т.е. отсутствует проскальзывание волокна в матрице, поэтому относительные деформации композита ε_K, волокна ε_B и матрицы ε_M равны между собой:

$$\varepsilon_K = \varepsilon_B = \varepsilon_M = \varepsilon. \quad (2.7)$$

Учитывая условие цельности композита, получим уравнение прочности волокнистого композита R_K в следующей форме:

$$R_K = [E_B V_B + E_M (1 - V_B)] \varepsilon. \quad (2.8)$$

Следовательно, модуль упругости композита E_K в рассмотренном случае формируется по правилу смесей:

$$E_K = E_B V_B + E_M (1 - V_B). \quad (2.9)$$

Применительно к стеклопластику, принимая модуль упругости стекловолокна E_B = 60000 МПа и полимерной матрицы E_M = 2000 МПа, т.е. соотношение $E_B : E_M = 30 : 1$. Содержание волокна в стеклопластике доводят до 80-90%, армируя его не отдельными волокнами, а стеклотканью. Из соотношения $P_B/P_M = (E_B/E_M) V_B/(1-V_B)$ видно, что усилие, воспринимаемое волокнами, увеличивается по мере увеличения содержания волокна и его модуля упругости (рис. 2.3). Соответственно уменьшается доля нагрузки, передаваемой на менее прочную матрицу. Прочность волокна при растяжении и модуль упругости зависят от его толщины (рис. 2.4). Высокопрочное волокно с большим модулем упругости имеет диаметр 3-7 мкм. Модуль упругости стеклопластика, армированного таким волокном, составляет 18000-35000 МПа, он в 10-20 раз

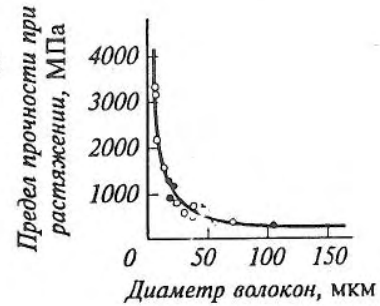


Рис. 2.3. График зависимости прочности на растяжение волокнистого композита

1 - от объемной концентрации волокна;
2 - доля прочности, вносимая матрицей

больше модуля упругости полимера. Следовательно, модуль упругости конструкционных полимерных композитов примерно такой же, как и цементного бетона.

Рис. 2.4. График зависимости прочности на растяжение минеральных волокон от их диаметра



Стеклопластики с ориентированными волокнами (типа СВАМ - стекловолокнистого анизотропного материала) обладают большей прочностью - при растяжении до 1000 МПа и легкостью - плотность 1,8-2 г/см³. Обладая также химической стойкостью, этот материал эффективен для труб, емкостей и конструкций.

Имеются материалы, модуль упругости которых на порядок выше модуля упругости стекла. Проводятся работы по получению непрерывных волокон бора, карбида кремния, углерода, а также бездефектных кристаллов оксида алюминия (сапфира), нитрида кремния и др. Стоимость таких волокон высокая и они в первую очередь будут применяться в тех областях, где стоимость материала второстепенна. Однако можно надеяться, что со временем стоимость новых материалов снизится и они будут доступными для строительной техники (как это произошло с алюминием).

§ 4. Строительные материалы - композиты

К композитам можно отнести многие строительные материалы: бетон и железобетон, строительные растворы, фибробетон, асбестоцемент, древесностружечные и древесноволокнистые плиты и др. Они не обладают прочностью истинных композитов, но в принципе состоят из тех же компонентов: матрицы и упрочнителя.

Теория композиционных материалов заключается прежде всего в понимании композита как системы с несколькими структурными уровнями, скомпонованными через поверхности раздела в

единый монолит - конгломерат (*от лат. conglomeratus - уплотненный, смесь*).

Строительные материалы на основе неорганических и органических вяжущих веществ иногда объединяют названием искусственные конгломераты в отличие от природных конгломератов, имеющихся в земной коре. Природные и искусственные конгломераты образуются с обязательным цементированием полизернистых и другого вида заполнителей (наполнителей) - волокнистых, пластинчатых, посредством первичных связей (химических, электрических, металлических и т.п.) или вторичных веществ - вяжущих (связующих).

Свойства конгломерата в первую очередь обусловливаются сцеплением (склеиванием) связующего с заполнителем. В отсутствии такового компоненты материала образуют механическую смесь и проявляют независимо друг от друга индивидуальные свойства.

Неорганические и органические вяжущие обладают определенными клеющими способностями и их функции состоят в склеивании в единое целое отдельных зерен, частиц, образуя конгломерат. Поэтому все вяжущие можно считать клеями. Склеивание определяется двумя факторами: ***адгезией*** - прочностью сцепления клея и материала и ***когезией*** - прочностью самого клея. Нарушение склеивания может произойти по причине слабой адгезии или когезии (или же самого склеиваемого материала). В местах склейки возникает контактный слой, толщина которого у полимерных клеев равняется долям микрона, а у минеральных - 20-50 мк.

Адгезия может быть специфической и механической. Специфическая адгезия объясняется различными видами физико-химических связей; механическая - шероховатостью поверхности, усадочными напряжениями, защемлением, вызывающим трение и др. Адгезия в чистом виде выявляется при нормальной отрывающей силе, вызывающей нормальные напряжения. Высокая адгезия возможна только при совершенном контакте клея со склеиваемыми поверхностями. При этом большое значение имеет чистота поверхности, хорошая ее смачиваемость, шероховатость - что увеличивает площадь контакта.

У минеральных клеев наилучшими адгезионными свойствами обладают растворимое стекло, магнезиальный цемент, затем портландцемент и глиноземистый; худшими - пуццолановый и шлакопортландцемент, строительный гипс и известь. Строительные растворы на портландцементе с высоким содержанием

$2CaO \cdot SiO_2$ показывают сцепление несколько выше, чем портландцемент с обычным минералогическим составом или с высоким содержанием $3CaO \cdot SiO_2$.

В полимерных клеях адгезионные качества определяются функциональными группами, входящими в состав молекул: например, гидроксильная - OH, карбоксильная - COOH, нитрильная - CN и др. Немаловажную роль при этом играют режим полимеризации, ряд физико-химических и технологических факторов и их различные сочетания (повышенное давление, температура, горячее прессование и т.п.). Высокими адгезионными свойствами обладают эпоксидные. полиэфирные, кремнийорганические и другие смолы.

На долю искусственных конгломератов ориентировочно приходится 90% строительных материалов, примерно 10% приходится на металлические и деревянные материалы. Но в соответствии с теориями о кристаллитном строении (мелкие кристаллы, не имеющие ясно выраженной формы) эти материалы имеют структуры также сходные с конгломератами. Они содержат «заполнитель» в виде кристаллов и «вяжущую часть» - своеобразные аморфные вещества.

Таким образом, большинство строительных материалов можно отнести к композиционным материалам, так как в них имеются в том или ином виде матрица и упрочняющий компонент. Причем последний может быть как дисперсно-упрочняющим, так и волокнистым.

Для матрицы применяют цемент, известь, гипс, битум, керамику, полимеры и др. Матрицей могут быть и более сложные материалы, уже являющиеся композитами: строительный раствор, бетон, где матрица - цементный камень, упрочняющий компонент - мелкий и крупный заполнитель. При армировании этих композитов получают как бы новые композиты - армоцемент и железобетон соответственно. Этот композит имеет двойное и тройное упрочнение, то есть, как отмечалось выше, системы с несколькими структурными уровнями. Исходя из этих предпосылок, строительные материалы можно классифицировать как композиты.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем объясняются высокие прочностные свойства конструкционных композитов?
2. Что такое матрица и упрочняющие компоненты?

3. Из каких материалов можно получать наиболее прочные композиты?

4. Перспективы развития композиционных материалов.

Дополнительная литература

1. Современные композиционные материалы. /Под ред. Л. Браутмана и Р. Крона (пер. с англ.). - М.: Мир, 1970.

2. Композиционные материалы: Справочник /Под ред. Д.М. Карпиноса. - Киев: Наукова думка, 1985.

3. Композиционные материалы: Справочник /Под ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. - М.: Машиностроение, 1990.

Глава III. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. Общие сведения

Главным источником для получения строительных материалов являются **горные породы**, их используют как сырье для изготовления керамики, стекла, металла, тепло- гидроизоляционных и других материалов, а также для производства неорганических вяжущих веществ - цементов, извести и строительного гипса. Сотни миллионов кубометров песка, гравия и щебня применяют ежегодно в качестве заполнителей для бетонов и растворов.

Другим сырьевым источником для производства строительных материалов являются **техногенные отходы промышленности**. Пока их использование для этих целей явно недостаточно. Но по мере истощения природных ресурсов, повышения требований к экологической обстановке и разработке новых эффективных технологий техногенные отходы будут применяться значительно шире.

Россия по запасам и разнообразию горных пород не имеет себе равных. Изыскания, проведенные в больших масштабах дают полное представление о запасах и географическом размещении минерального сырья.

При разработке горных пород важным показателем эффективности производства являются отходы, их количество характеризует затраты на конечный продукт. На Западе для производства

одного килограмма продукта расходуется 4 кг исходного материала природы, у нас - значительно больше.

Горная порода - это природный минеральный агрегат более или менее определенного состава и строения, являющийся продуктом геологических процессов и образующий в земной коре самостоятельные тела.

В зависимости от условий формирования горные породы делят на три генетические группы (классификация горных пород по условиям их образования, генетическому признаку): *магматические породы* (или изверженные), образовавшиеся в процессе кристаллизации сложного природного силикатного расплава - магмы; *осадочные,* возникшие в поверхностных условиях из продуктов разрушения любых других пород; *метаморфические*, являющиеся продуктом перекристаллизации и приспособления пород к изменившимся в пределах земной коры физико-химическим условиям (табл. 3.1).

Минералы - это природные физически и химически однородные тела, возникающие в земной коре в результате физико-химических процессов. С этой точки зрения каждый минерал отвечает определенному состоянию и составу среды, в которой он возникает. В большинстве случаев минералы - твердые тела, иногда жидкие и газообразные. Всего минералов в природе более 2000, но в образовании горных пород участвуют лишь около 50.

Большая часть минералов находится в твердом состоянии и обладает преимущественно кристаллической формой. Многие минералы *анизотропны*, т.е. отличаются тем, что некоторые физические свойства их (например, теплопроводность, линейное расширение при нагревании, оптические свойства) различны по разным направлениям (кристаллографическим осям). В отличие от кристаллических тел, аморфные тела (например, опал трепел, стекло) *изотропны*, т.е. физические свойства их одинаковы по всем размерным линиям.

Некоторые минералы обладают *спайностью*, т.е. сравнительно легко разделяются (раскалываются) по одному или нескольким направлениям; плоскости раскола бывают ровные, блестящие, их называют плоскостями спайности. Минералы различаются по химическому составу и делятся на четыре группы: кварца, алюмосиликатов, железистомагнезиальных, карбонатов и сульфатов.

Таблица 3.1

Генетическая классификация горных пород

Магматические породы	Массивные	Глубинные (интрузивные)	Граниты, сиениты, диориты, габбро
		Излившиеся (эффузивные)	Порфиры, диабазы, трахиты, базальты, порфириты, андезиты
(изверженные)	Обломочные	Рыхлые	Вулканические пеплы, пемзы
		Цементированные	Вулканические туфы
Осадочные породы	Механические отложения (обломочные породы)	Рыхлые Цементированные	Глины, пески, гравий Песчаники конгломераты, брекчии Гипс, ангидрит, магнезит, доломиты, известковые туфы, некоторые виды известняков
	Химические осадки		Известняки, мел, ракушечник, диатомиты и трепелы
	Органогенные отложения		
Метаморфические (видоизмененные)	Продукты видоизменения изверженных пород	Гнейсы	
породы	То же, осадочных пород	Мраморы, кварциты	

§ 2. Магматические горные породы (изверженные)

Образование магматических пород тесно связано со сложнейшими проблемами происхождения магм и строения Земли. Согласно современным представлениям Земля имеет концентрическизональное строение и состоит из ядра, промежуточной оболочки (или мантии) и внешней оболочки - коры. Последняя, в свою очередь имеет три слоя: нижний - базальтовый, выше него - гранитный и верхний - тонкий чехол осадочных пород (рис. 3.1).

Главной составляющей частью изверженных пород является кремнезем (SiO_2), в зависимости от содержания которого (в свободном и химически связном состоянии) эти породы разделяются на кислые (>65% SiO_2), средние (-66-65% SiO_2) и основные (<65% SiO_2).

Базальтовый слой коры состоит из пород основного состава. В пределах океанов верхняя его часть доступна непосредственному изучению; мощность базальтового слоя под океанами не превышает 5-6 км, тогда как в пределах континентов она достигает 40 км. Гранитный слой состоит преимущественно из пород кислого состава и различных метаморфических пород. Этот слой развит в пределах континентов и континентальных склонов. Мощность его колеблется от 10 км в пределах платформ до 30 км в складчатых областях. Общая мощность земной коры на платформах составляет 30-40 км, в складчатых зонах достигает 30-70 км.

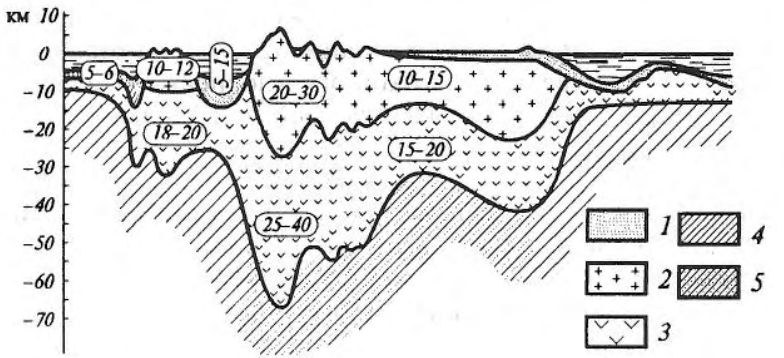


Рис. 3.1. Схема строения земной коры

1 - осадочный чехол; *2* - гранитный слой; *3* - базальтовый слой; *4* - верхняя мантия перидотитового состава; *5* - верхняя мантия эклогитового (гранито-пироксенового) состава; *5-6, 10-12* и т.д. - средние толщины слоя (км)

В зависимости от условий образования выделяют две основные группы магматических пород - глубинные (интрузивные) и излившиеся (эффузивные). *Глубинные* - это породы, образовавшиеся при застывании магмы на разной глубине в земной коре. *Излившиеся* породы образовались при вулканической деятельности, излиянии магмы из глубин и затвердении на поверхности. Обломочные породы образовались при быстром охлаждении лавы.

Породообразующие минералы

Основными породообразующими минералами магматических пород являются: кварц (и его разновидности); полевые шпаты; железисто-магнезиальные силикаты.

Все эти минералы отличаются друг от друга по свойствам, поэтому преобладание в породе тех или иных минералов меняет ее строительные свойства: прочность, стойкость, вязкость и способность к обработке (к полировке, шлифовке и т.п.).

Кварц, состоящий из кремнезема (диоксида кремня SiO_2) в кристаллической форме, является одним из самых прочных и стойких минералов. Он обладает: исключительно высокой прочностью при сжатии (до 2000 МПа) и высокой для хрупких материалов прочностью при растяжении (около 100 МПа); высокой твердостью, уступающей только твердости топаза, корунда и алмаза; весьма высокой кислотостойкостью и вообще химической стойкостью при обычной температуре; из кислот на него действует фтористо-водородная кислота и горячая фосфорная; едкие и углекислые щелочи вступают во взаимодействие с кварцем при повышенной температуре; высокой огнеупорностью - плавится при температуре 1700°С. Цвет кварца чаще всего встречается молочно-белый, серый.

Благодаря высокой прочности и химической стойкости кварц остается почти неизменным при выветривании магматических пород, в состав которых он входит (например, при разрушении гранитов). Поэтому является также одним из самых важных минералов и в осадочных породах (в песчаниках и кварцевых песках).

Полевые шпаты - это самые распространенные минералы в магматических породах (до 2/3 от общей массы породы). Они представляют собой, так же как и кварц, светлые составные части пород (белые, розоватые, красные и т.п.). Главными разновидностями полевых шпатов являются ортоклаз и плагиоклазы.

Ортоклаз - $K_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6SiO_2$ или $K[AlSi_3O_8]$ (по гречески "прямораскалывающийся") характеризуется следующими свойствами: угол между спайностями 90°, твердость - 6-6,5, плотность 2,57 г/см^3, плавится при 1170°С, полное расплавление при 1450°С. Встречаются в кислых (гранит) и средних (сиенит) по кислотности магматических породах.

Плагиоклазы (по гречески "косораскалывающийся") образуют изоморфный ряд от альбита $Na_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6SiO_2$ - или $Na[AlSi_3O_8]$, входящего в состав кислых пород, до анортита - $CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}2SiO_2$ или $Ca[A1_2Si_2O_8]$, характерного для основных пород (габбро, базальт и др.)

По сравнению с кварцем полевые шпаты обладают значительно меньшей прочностью (120-170 МПа на сжатие) и стойкостью, поэтому они реже встречаются в осадочных породах (главным образом, в виде полевошпатовых песков). Выветривание полевых шпатов происходит под влиянием воды, содержащей углекислоту. Результатом выветривания является новый минерал - каолинит (важнейшая часть самой распространенной осадочной породы - глины).

К цветным (темноокрашенным) минералам, встречающимся в магматических породах, относятся железисто-магнезиальные и магнезиальные силикаты и некоторые алюмосиликаты.

В группе **железисто-магнезиальных** силикатов наиболее распространены оливин, пироксены (например, авгит), амфиболы (роговая обманка). Среди магнезиальных силикатов встречаются вторичные минералы, чаще всего замещающие оливин - серпентин, хризотил - асбест.

В группе **алюмосиликатов** наиболее распространены слюды: обыкновенные - мусковит (почти бесцветный), флогопит и биотит (темного цвета); гидрослюды - гидромусковит, гидробиотит. Твердость слюд 2-3.

Все вышеперечисленные минералы, за исключением мусковита и гидромусковита, отличаются от кварца и полевых шпатов темной окраской (зеленого, темно-зеленого, иногда черного цвета). Характерными свойствами цветных минералов (за исключением слюд) являются высокая прочность и вязкость, а также повышенная плотность по сравнению с другими минералами, которые входят в состав магматических пород. Увеличение содержания цветных минералов (за исключением алюмосиликатов) придает породам высокую прочность, вязкость и стойкость против выветривания.

Водные алюмосиликаты (слюды) являются нежелательной составной частью пород. Они понижают прочность пород, ускоряют их выветривание и затрудняют шлифовку и полировку, так как в результате совершенной спайности слюды весьма легко разделяются на очень тонкие пластинки. Слюды встречаются и в песках, где также считаются вредной примесью. Бетоны и строительные растворы на песке со значительным содержанием слюды обладают пониженной морозостойкостью.

Для специальных отделочных штукатурок в растворы иногда намеренно вводят слюду в целях достижения определенного художественного эффекта.

Глубинные (интрузивные) горные породы

Магматические породы, образующиеся в различной геологической обстановке, отличаются специфическими признаками, к которым прежде всего относятся форма магматических тел и их взаимоотношения с вмещающими породами.

Особенности строения горных пород, зависящие от условий образования, выражаются в структурных и текстурных признаках.

Структура определяется степенью кристалличности и размерами зерен, а также формой и взаимными отношениями составных частей породы.

При медленном остывании магмы в глубинных условиях возникают полнокристаллические структуры. По размерам зерен среди кристаллических пород выделяют: крупнозернистые (средний размер зерен более 5 мм), среднезернистые (1-5 мм) и мелкозернистые (0,5-1 мм), а также равномернозернистые и неравномернозернистые структуры (рис. 3.2).

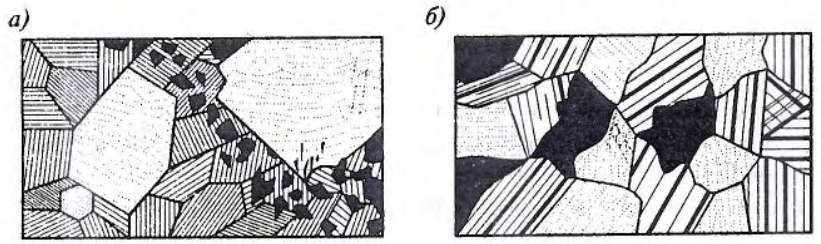


Рис. 3.2. Типы структур (схемы):

а) неравномернозернистая; *б)* равномернозернистая

Текстура - совокупность признаков, определяемых расположением и распределением составных частей породы относительно друг друга в занимаемом ими пространстве. Подавляющее большинство магматических пород характеризуется массивной текстурой.

Следствием медленного охлаждения магмы является ряд общих свойств для разных глубинных горных пород: весьма малая пористость и, следовательно, большая плотность и высокая прочность. Кроме того, в связи с очень малой пористостью эти породы обычно обладают весьма низким водопоглощением, морозостойкостью и сравнительно высокотеплопроводны. Обработка таких пород из-за их высокой прочности затруднительна. Однако благодаря высокой плотности они хорошо полируются и шлифуются.

Средние показатели важнейших строительных свойств таких пород: прочность при сжатии - 100-300 МПа; плотность - 2600-3000 кг/м^3; водопоглощение - меньше 1% по объему; теплопроводность - около 3 Вт/(м·°С).

Граниты обладают благоприятным для строительного камня минеральным составом, отличающимся высоким содержанием кварца (25-30%), натриево-калиевых шпатов (35-40%) и плагиоклаза (20-25%), обычно небольшим количеством слюды (5-10%) и отсутствием сульфидов. Граниты имеют высокую механическую прочность при сжатии - 120-250 МПа (иногда до 300 МПа). Сопротивление растяжению, как у всех каменных материалов, относительно невысокое и составляет лишь около 1/30-1/40 от сопротивления сжатию.

Необходимо отметить, что в каменных материалах вследствие хрупкости сравнительно легко могут появляться тонкие (волосные) местные трещинки - от взрывов при добыче, от ударов, резких колебаний температуры и т.п. Эти трещинки оказывают сравнительно небольшое влияние на предел прочности при сжатии, но могут значительно понизить прочность на растяжение.

Одним из важнейших свойств гранитов является также малая пористость, не превышающая 1,5%, что обуславливает водопоглощение около 0,5% (по объему). Поэтому морозостойкость их высокая. Огнестойкость гранита недостаточна, так как он растрескивается при температурах выше 600°С вследствие полиморфных превращений кварца. Гранит, так же как и большинство других плотных магматических пород, обладает высоким сопротивлением истиранию.

Граниты весьма разнообразны по цвету, зависящему в основном от окраски полевых шпатов, которые могут быть белыми, серыми, желтыми, розовыми, красными. Различные сочетания отдельных компонентов и изменение структуры обуславливают

разнообразие цветов, оттенков и декоративного рисунка гранитов, поэтому граниты являются прекрасным облицовочным декоративным материалом. В связи с высокой прочностью на сжатие, морозостойкостью граниты применяют для защитной облицовки набережных, устоев мостов, цоколей зданий, а также в качестве щебня для высокопрочных и морозостойких бетонов. Кроме того, благодаря значительной кислотостойкости, граниты применяют в качестве кислотоупорной облицовки.

Из всех изверженных пород граниты наиболее широко используют в строительстве, так как они являются самой распространенной из глубинных магматических пород. Остальные глубинные породы (сиениты, диориты, габбро и др.) встречаются и применяются значительно реже.

Сиениты. Горные породы группы сиенитов занимают около 2,6% магматических пород. Породы эти окрашены в розовые, серые и зеленоватые тона, что зависит от цвета полевых шпатов. Сиениты состоят из калиевых (50-70%) и натриевых полевых шпатов (10-30%), цветных минералов (10-20%). Если присутствует кварц (10-15%), то породу называют *кварцевым сиенитом*. По физико-механическим свойствам сиениты близки к гранитам, несколько уступая им в прочности из-за отсутствия кварца.

Гранодиориты менее распространены, чем граниты, и отличаются от них меньшим содержанием кварца (20-25%), повышенным количеством цветных минералов (15-20%), в составе которых преобладает роговая обманка, поэтому эти породы темнее гранитов. В гранодиоритах всегда присутствует полевой шпат (45-50%). Гранодиориты по механической прочности уступают гранитам, что связано с меньшим содержанием кварца. Подобно гранитам, они находят в строительстве самое разнообразное применение - от бута и щебня до облицовочного и скульптурного камня.

Диориты и кварцевые диориты. Это породы серого цвета; состоят они из плагиоклаза (65-70%) и роговой обманки, иногда вместе с пироксенами или биотитом, составляющими в сумме около 25-30%. Структура породы равномернозернистая, средне- или мелкозернистая. Текстура массивная или пятнистая, что обусловлено наличием обособлений (шлиров), обогащенных темноцветными минералами.

Кварцевые диориты характеризуются присутствием кварца в количестве 5-20% и меньшим содержанием роговой обманки. Структура и текстура аналогичны диоритам.

Физико-механические свойства диоритов характеризуются следующими показателями: плотностью - 2,9 кг/м^3, пределом

прочности при сжатии 180-240 МПа. Наиболее прочны диориты с мелко- и среднезернистой структурой, массивной текстурой и с повышенным содержанием роговой обманки. Разновидности, включающие биотит, имеют пониженную прочность. Диориты и особенно кварцевые диориты превосходят по прочности граниты и сиениты.

Габброиды. Среди габброидов важнейшими являются габбро и анортозиты.

Габбро - порода в свежем состоянии темно-серого или почти черного цвета, что объясняется темной окраской плагиоклазов и высоким содержанием цветных минералов. В результате вторичных изменений плагиоклазы приобретают светло-серый и зеленовато-серый цвет. Типичное габбро состоит примерно из равного количества натриево-кальциевого шпата и моноклинного пироксена. В очень малых количествах в габбро могут присутствовать оливин, ромбический пироксен, роговая обманка, биотит. Постоянными компонентами габброидов являются магнетит и титаномагнетит.

Анортозиты представляют собой темноокрашенные породы, состоящие почти из одного натриево-кальциевого полевого шпата - лабрадора. Эти породы благодаря иризирующему свойству (иризация - яркий цветной отлив на гранях или плоскостях спайности лабрадора) применяют в строительстве в качестве облицовочного камня.

Для пород группы габбро характерна плотность 2,9-3,0 кг/м^3, большая прочность (при сжатии 200-300 МПа) и достаточно высокая стойкость против выветривания.

Красивый вид и хорошая полируемость позволяют применять наиболее декоративные разновидности габбровых пород и лабрадориты с синим оттенком для облицовки памятников (памятник неизвестному солдату в Москве) и ряда других выдающихся сооружений.

Перидотиты - черные породы, иногда с зеленоватым оттенком, обычно среднезернистой структуры. Текстура массивная, нередко пятнистая или полосатая. В составе перидотитов присутствуют оливин в количестве 30-70% и пироксены 70-30%. Используются для получения щебня. Свойственная текстура не позволяет использовать их в качестве штучного камня, а большая твердость камня вызывает большие расходы при разработке месторождений.

Излившиеся (эффузивные) горные породы

Магматическая порода, образовавшаяся при кристаллизации магмы на небольших глубинах и занимающая по условиям залегания и структуре промежуточное положение между глубинными и излившимися породами. При кристаллизации магмы в приповерхностных условиях образуются полнокристаллические неравномернозернистые и неполнокристаллические структуры.

Среди неравномернозернистых структур выделяют порфировидные и порфировые структуры. **Порфировидные структуры** обусловлены наличием относительно крупных кристаллов на фоне полнокристаллической основной массы породы. Порфировые структуры характеризуются наличием хорошо образованных кристаллов - порфировых "вкрапленников", погруженных в стекловидную основную массу породы.

Структура - существенный признак, определяющий физико-механические свойства породы. Наиболее прочными являются равномернозернистые породы, тогда как породы такого же минерального состава, но крупнозернистой порфировидной структуры быстрее разрушаются как при механическом воздействии, так и при резких колебаниях температур.

Из магматических пород в строительстве наиболее широко применяют кварцевые и бескварцевые (полевошпатовые) порфиры. **Кварцевые порфиры** по своему минеральному составу близки к гранитам. Прочность, пористость, водопоглощение у порфиров в общем сходны с показателями этих свойств, присущими гранитам. Но порфиры более хрупки и менее стойки вследствие наличия крупных вкраплений.

Бескварцевые (полевошпатовые) **порфиры** по своему составу близки к сиенитам, но в связи с иным генезисом обладают худшими физико-механическими свойствами.

Излившиеся горные породы образовались в результате излияния магмы, ее охлаждения и застывания на поверхности земли, поэтому в большинстве случаев они состоят из отдельных кристаллов, вкрапленных в основную мелкокристаллическую, скрытокристаллическую и даже стекловатую массу.

Излившиеся породы в результате неравномерного распределения минеральных компонентов сравнительно легко разрушаются при выветривании и под воздействием внешних условий, а также обнаруживают анизотропность механических свойств.

Различают эффузивы: излившиеся плотные и излившиеся пористые. К *плотным* излившимся породам относят трахиты, липариты, андезиты, базальты, диабазы.

Трахиты. По своему минеральному и химическому составу трахиты схожи с сиенитами, но более пористы. Поэтому предел прочности при сжатии трахитов невысок (60-70 МПа), а морозостойкость ниже, чем у сиенитов. Трахиты легко обрабатываются, но не полируются, используют как кислотоупорный материал и отчасти в качестве строительного камня.

Излившиеся аналоги гранитов представлены **липаритами**. Среди излившихся пород кислого состава широко распространены вулканические стекла с полным отсутствием или небольшим количеством кристаллов.

Некоторые вулканические стекла после термической обработки применяют в виде "вспученного перлита", обладающего рядом ценных свойств - малой плотностью, большой пористостью, малыми звуко- и теплопроводностью и т.д.

Андезиты - излившиеся аналоги диоритов - порода серого или желтовато-серого цвета, порфировой структуры, с плотной основной массой. Андезиты содержат плагиоклазы, роговую обманку, некоторые пироксены и биотит. Структура может быть неполнокристаллическая или стекловатая, текстура - массивная или пористая. Физико-механические свойства сходны со свойствами базальтов. Плотность андезитов - 2700-3100 кг/м^3, предел прочности при сжатии - 140-250 МПа. Андезиты, содержащие в своем составе большое количество роговой обманки или пироксенов, отличаются более высокими техническими качествами, чем биотитсодержащие разновидности. Андезиты применяют в качестве кислотостойкого материала - облицовочных изделий, в виде щебня для кислотоупорного бетона.

Базальты - излившиеся аналоги габбро - породы черного цвета, очень плотные, скрытокристаллические или тонкозернистые, иногда порфировые. Плотность базальтов - 2700-3300 кг/м^3; предел прочности при сжатии колеблется в широких пределах - 110-500 МПа, в среднем - 200-250 МПа. Базальты ввиду большой твердости и хрупкости трудно обрабатываются, но хорошо полируются. Применяют главным образом в качестве бутового камня и щебня для бетонов, в дорожном строительстве (для мощения

улиц); особо плотные породы используют в гидротехническом строительстве. Базальты являются исходным материалом для литых каменных изделий.

Диабазы - порода мелкозернистая, по составу аналогичная габбро, но с типичной диабазовой микроструктурой (структура полнокристаллическая представлена кристаллами плагиоклаза, между которыми располагаются зерна цветных минералов). Диабазы имеют черный цвет, выветренные - зеленовато-серый. Диабазы отличаются высокой твердостью, прочностью (300-400 МПа на сжатие) и вязкостью, что связано с большим содержанием в их составе железомагнезиальных силикатов и свойственной этим породам структурой. Диабазы мало изнашиваются и в виде брусчатки применяются для мощения дорог и улиц.

К *пористым* излившимся породам относят пемзу, вулканические туфы и пеплы, туфолавы.

Пемза представляет собой пористое вулканическое стекло, образовавшееся в результате выделения газов при быстром застывании кислых и средних лав. Цвет пемзы белый или серый. Пористость ее достигает 60%; стенки между порами сложены стеклом. Твердость пемзы около 6, истинная плотность 2-2,5 г/см^3, плотность 0,3-0,9 г/см^3 (пемза, плавает в воде). Большая пористость пемзы обуславливает хорошие теплоизоляционные свойства, а замкнутость большинства пор - достаточную морозостойкость. Пемза служит заполнителем в легких бетонах (пемзобетоне). Наличие в пемзе активного кремнезема позволяет использовать ее в виде гидравлической добавки к цементам и извести. В качестве абразивного материала пемзу применяют для шлифовки металлов и дерева, полировки каменных изделий.

Месторождения пемзы относятся к вулканическим и встречаются в областях распространения действующих и потухших вулканов.

Вулканичесщй пепел - наиболее мелкие частицы лавы, обломки отдельных минералов, выброшенные при извержении вулкана. Происхождение пепла объясняется размельчением лавы при вулканических взрывах. Размеры частичек пепла колеблются от 0,1 до 2 мм. Вулканический пепел является активной минеральной добавкой.

Вулканические туфы - горные породы, образовавшиеся из твердых продуктов вулканических извержений: пепла, пемзы и других, впоследствии уплотненных и сцементированных. Цементом туфов является вулканический пепел, глинистое или кремнистое вещество, иногда с примесью продуктов разложения пепла.

Туфолава - горная порода, занимающая промежуточное положение между пеплом и туфом. Образование туфолав связывают с быстрым вспениванием лав при резком падении давления и связанным с этим дроблением вкрапленников и стекла без разрыва сплошности лавого потока. В состав вулканических туфов и туфолав входят SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 и др.

Вулканические туфы и туфолавы хорошо сопротивляются выветриванию, мало теплопроводны и, несмотря на большую пористость, морозостойки. Они легко обрабатываются, распиливаются, пробиваются гвоздями, шлифуются, но не полируются.

Типичным представителем туфолав является артикский туф, добываемый в Армении. При истинной плотности около 2,6 г/см^3 плотность породы колеблется в пределах от 750 до 1400 кг/м^3. Соответственно пористость ее составляет 70-46%. Теплопроводность арктикского туфа меньше, чем обыкновенного кирпича, что позволяет уменьшить толщину наружных стен зданий. Прочность туфов находится в тех же примерно пределах, что и у обыкновенного кирпича, т.е. от 5 до 15 (иногда до 30) МПа.

Туф и туфолавы используют в виде пиленого камня для кладки стен жилых зданий, устройства перегородок и огнестойких перекрытий. Используются они также в качестве декоративного камня, чему благоприятствует наличие туфов разных цветов - лиловых, желтых, красных, черных и др. Применяются туфы и в виде щебня для легких бетонов.

§ 3. Осадочные горные породы

Осадочная порода образуется в условиях переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности растений.

В результате воздействия агентов химического выветривания происходит окисление минералов, их гидратация, а также разложение минералов сложного состава с образованием новых минеральных видов и выносом в растворенном состоянии различного рода соединений.

На первом этапе химического выветривания полевые шпаты переходят в глинистые минералы типа гидрослюды. При более глубоком разложении образуется другой глинистый минерал - каолинит - $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Преобладающая часть продуктов выветривания выносится из зоны выветривания и отлагается вдали от места разрушения ма-

теринских пород. Основными агентами переноса являются текучие воды, движущийся лед и ветер.

Осадочные породы в зависимости от условий их образования делят на три основные группы: **обломочные** породы, или механические осадки: *рыхлые* (например, гравий, глины, пески), оставшиеся на месте разрушения пород или перенесенные водой, а также льдом (ледниковые отложения) или ветром (эоловые отложения), *сцементированные* (песчаники, конгломераты, брекчии); **химические осадки** (например, гипс и известковые туфы), образовавшиеся из продуктов разрушения пород, перенесенных водой в растворенном виде; **органогенные породы**, образовавшиеся из остатков некоторых водорослей и животных (скелеты губок, кораллов, раковины и панцири ракообразных и др.); к органогенным породам относятся мел, большинство известняков, диатомиты.

Кроме обломочных рыхлых пород встречаются также породы (конгломераты, брекчии, песчаники), зерна которых сцементированы различными природными "цементами". Эти цементы находились в растворенном или коллоидном состоянии в воде и выпали в толще рыхлых осадков, сцементировав их зерна в сплошные горные породы различной плотности.

Большинство осадочных пород имеет более пористое строение, чем плотные магматические породы, а следовательно, и меньшую прочность. Некоторые их них сравнительно легко растворяются (например, гипс) или распадается в воде на мельчайшие нерастворимые частицы (например, глины).

В составе осадочных пород можно выделить две различные по своему происхождению группы минералов: *реликтовые* и *минералы осадочного происхождения*. К первой группе относят минералы магматические и метаморфические; обычно зерна этих минералов окатаны, ко второй - минералы, образовавшиеся на месте в осадке или в породе.

Главные породообразующие минералы

Группа кремнезема. Наиболее распространенные минералы этой группы - опал, халцедон и осадочный кварц.

Опал ($SiO_2 \cdot nH_2O$) - аморфный минерал, содержание воды в нем колеблется от 2 до 14% и достигает иногда 34%. При нагревании часть воды теряется. Опал чаще всего бесцветен или молочно-белый, но в зависимости от примесей может быть желтым, голубым или черным. Плотность 1,9-2,5 г/см³, максимальная твердость 5-6, хрупок.

Халцедон (SiO_2) является волокнистой или скрытокристаллической разновидностью кварца. Цвет белый, серый, светло-желтый, бурый, зеленый. Плотность 2,6 г/см³, твердость 6. Халцедон является продуктом кристаллизации опала, а также выпадает непосредственно из растворов, отлагаясь совместно с опалом и кварцем.

Кварц (SiO_2). В осадочных породах присутствует кварц магматического происхождения и кварц осадочный. Осадочный кварц отлагается непосредственно из растворов, а также образуется в результате перекристаллизации опала и халцедона. Он широко распространен в кремнистых породах, заполняет трещины, поровые пространства и другие полости в песчаниках и известняках.

Группа карбонатов. Минералы группы карбонатов имеют широкое распространение в осадочных породах. Наиболее важную роль в них играют кальцит, доломит и магнезит.

Кальцит ($CaCO_3$). Бесцветный или белый, при наличии механических примесей серый, желтый, розовый или голубоватый минерал. Блеск стеклянный. Плотность 2,7 г/см³, твердость 3. Характерным диагностическим признаком является растворимость с бурным вскипанием в 10%-ной соляной кислоте.

Разновидность карбоната кальция называется арагонитом. В условиях земной поверхности арагонит неустойчив и переходит в кальцит.

Доломит $[CaMg(CO_3)]_2$ - бесцветный, белый, часто с желтоватым или буроватым оттенком минерал. Блеск стеклянный. Плотность 2,8 г/см³, твердость 3-4. В 10%-ной соляной кислоте вскипает только в порошке и при нагревании. Доломит обычно мелкозернист, крупные кристаллы встречаются редко. Образуется он либо как первичный химический осадок, либо в результате доломитизации известняков. Минерал доломит слагает породу того же названия. Применяется в качестве сырья для производства магнезиальных и доломитовых вяжущих веществ, доломитовых огнеупорных материалов, а также в качестве строительного камня и щебня для бетона.

Магнезит ($MgCO_3$) - бесцветный, белый, серый, желтый, коричневый минерал. Плотность 3,0 г/см³, твердость 3,5-4,5. Рас-

творяется в HCl при нагревании. Применение магнезита основано на высокой огнеупорности и вяжущих свойствах оксида магния. Магнезит, обоженный при 1500-1650°С, представляет собой высокоогнеупорный материал, применяющийся для изготовления магнезитового кирпича, а обоженный при 750-800°С дает оксид магния (каустический магнезит) и образует с растворами хлористого или сернокислого магния магнезиальное вяжущее.

Группа глинистых минералов. Глинистые минералы играют в составе осадочных пород исключительно важную роль. Они слагают глины, а также могут находиться в качестве примеси в песчаниках, алевролитах, известняках и многих других породах, существенно изменяя их физико-химические свойства. Минералы этой группы относятся к водным алюмосиликатам. Наиболее широкое распространение имеют каолинит, монтмориллонит и гидрослюды.

Каолинит - $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ или $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Белый, иногда с буроватым или зеленоватым оттенком минерал. Плотность его 2,6 г/см³, твердость 1. На ощупь жирный. Встречается в виде мелоподобных плотных агрегатов. Каолинит образуется в результате разложения полевых шпатов, слюд и некоторых других силикатов в процессе их выветривания и переноса продуктов разрушения. На земной поверхности устойчив в условиях кислой среды. Каолинит слагает каолиновые глины, входит в состав полиминеральных глин, иногда присутствует в цементе обломочных пород.

Гидрослюды образуются при разложении слюд и некоторых других силикатов (например, полевых шпатов).

Гидрослюды используют в строительстве, например, вермикулит, обладающий свойством увеличиваться при нагревании в 20 и более раз, применяется как пористый заполнитель легкого бетона.

Монтмориллонит образуется в условиях щелочной среды в морских осадках и в коре выветривания. Слагает бентонитовые глины, иногда служит цементирующим материалом в песчаниках. Минералы группы монтмориллонита широко распространены в осадочных породах, а в некоторых глинах играют роль главных породообразующих. Примеси глинистых минералов в известняках и песчаниках нежелательны, так как содержание уже 3-4% глины резко понижает их водостойкость и морозостойкость.

Группа сульфатов. Наиболее распространенными минералами этой группы являются гипс и ангидрит.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ представляет собой скопление белых или бесцветных кристаллов, иногда окрашенных механическими примесями в голубые, желтые или красные тона. Блеск стеклянный. Плотность 2,3 г/см³, твердость 2. Для гипса, развивающегося в пустотах и трещинах, характерно волокнистое строение и шелковистый блеск. Иногда гипс встречается в виде тонкозернистых и землистых агрегатов, а также слагает цемент песчаника. Гипс применяют в производстве вяжущих веществ: строительного и формовочного гипса и др.

Ангидрит $CaSO_4$ - белый, серый, светло-розовый, светло-голубой минерал. Блеск стеклянный. Плотность 3,0 г/см³, твердость 3-3,5. Как правило, встречается в виде сплошных мелкозернистых агрегатов; крупные кристаллы образуются редко, они обычно имеют игольчатый или призматический облик.

Красиво окрашенные ангидрит и гипс иногда применяют как облицовочный материал для внутренних отделок зданий, а после пропитки водостойкими эмульсиями и для наружных обделок. Ангидрит используют для производства вяжущих веществ. Гипс и ангидрит слагают породы того же названия, широко распространенные в соленосных отложениях.

Органические остатки в осадочных породах. Осадочные породы нередко содержат органические остатки животного и растительного происхождения, сложенные кремнистым или известковым веществом.

Наиболее важными по своим строительным свойствам из групп пород биохимического происхождения являются диатомиты, сложенные остатками диатомей. Диатомовые водоросли - мельчайшие одноклеточные растения, заключенные в тонкий пористый панцирь, состоящий из опала. Встречаются преимущественно в кремнистых и глинисто-кремнистых породах.

Вулканогенный материал в осадочных породах представлен обломками вулканического стекла (вулканический пепел), размеры которых колеблются от 0,01 до 1 мм и характеризуются остроугольными причудливо изогнутыми формами.

Структура осадочной породы определяется размером и формой ее минеральных компонентов, текстура - их взаимным расположением и ориентировкой в пространстве. Структура и текстура характеризуют строение породы. Наиболее характерной особенностью строения осадочных пород является их слоистость. В том случае, когда слоистость отсутствует, текстуру называют беспорядочной, так как частицы располагаются в ней без всякой ори-

ентировки. Беспорядочная текстура характерна для песков и грубообломочных пород.

Обломочные породы

Породы рассматриваемой группы сложены преимущественно зернами устойчивых при выветривании минералов и горных пород.

Рыхлые обломочные породы - песок и гравий - применяют в качестве заполнителей ддя бетона, в дорожном строительстве, для железнодорожного балласта. Пески служат компонентом сырьевой смеси в производстве стекла, керамических изделий и др. Песчаные породы широко используют при возведении намывных плотин, дамб и др.

Глинистые породы сложены более чем на 50% частицами мельче 0,01 мм, причем не менее 25% из них имеют размеры меньше 0,001 мм. Они характеризуются сложным минеральным составом. Кроме того, глинистые породы могут содержать обломочные зерна кварца, полевых шпатов, слюд, а также гидроокислы, карбонаты, сульфаты и прочие минералы. Наличие обломочной примеси оказывает существенное влияние на степень пластичности глины.

За основу минералогической классификации глинистых пород принимается состав глинистых минералов.

Каолиновые глины сложены минералом каолинитом. Обычно эти глины окрашены в светлые тона, жирные на ощупь, они малопластичны, огнеупорны.

Полимиктовые глины характерны наличием двух или нескольких минералов, причем ни один из них не является преобладающим. Они окрашены в бурые, коричневые, серые или зеленоватые тона. Обычно содержат значительное количество песчаной и алевритовой примеси и различные карбонаты, сульфаты, сульфиды, гидроокислы железа и т.п.

Глины находят большое применение. Каолиновые глины являются огнеупорными и их широко используют в керамической промышленности. Гидрослюдистые глины и глины полимиктового состава применяют для изготовления кирпича, грубой керамики и других изделий. Глины являются также компонентом сырьевой смеси в производстве цемента. Глины используют как строительный материал при возведении земляных плотин (экраны и пр.)

Хемогенные породы

Среди пород химического происхождения наиболее важными в строительном деле являются карбонатные, сульфатные и аллитовые породы.

Карбонатные породы. Наиболее распространенными карбонатными породами являются известняки и доломиты. Известняк - порода, сложенная более чем на 50% кальцитом; доломит - порода, состоящая более чем на 50% из доломита. В зависимости от количественного соотношения в породе кальцита и доломита наблюдаются постепенные переходы от чистых известняков к чистым доломитам.

Количество глинистой примеси в карбонатных породах может колебаться в широких пределах. Порода, характеризующаяся приблизительно равным содержанием карбонатного и глинистого материала, называется *мергелем.*

Наличие примесей оказывает большое влияние на физико-механические свойства карбонатных пород. Глинистое вещество при увлажнении понижает прочность известняков. Кремнезем уменьшает растворимость известняков и повышает их прочность. Доломитизированные известняки характеризуются меньшей растворимостью и большей прочностью по сравнению с известняками, не затронутыми процессами доломитизации. Примеси гипса, ангидрита и других легкорастворимых весьма нежелательны.

Пористость плотных известняков не превышает десятых долей процента, а рыхлых достигает 15-20%. Окраска известняков зависит от примесей и может быть различной: белой, желтоватой, бурой, серой, темно-серой до черной. Среди известняков, образовавшихся химическим путем, выделяют известковые туфы, а также некоторые микрозернистые известняки.

Доломиты похожи на известняки. Цвет доломитов белый, желтовато-белый, светло-бурый. Для них характерны микрозернистые и кристаллически-зернистые структуры.

Благодаря широкому распространению, легкой добыче и обработке обыкновенные известняки, доломитизированные известняки и доломиты применяют в строительстве чаще, чем другие породы. Их используют в виде бутового камня для фундаментов, стен неотапливаемых зданий или жилых домов в районах с теплым климатом, а наиболее плотные породы применяют в виде плит и фасонных деталей для наружных облицовок зданий. Известняковый щебень часто используют в качестве заполнителя для бетона. Наконец, известняки широко применяют как сырье для получения вяжущих веществ - извести и цемента. Доломиты

используют для получения вяжущих и огнеупорных материалов в цементной, стекольной, керамической и металлургической промышленности.

Сульфатные породы состоят из сульфатных соединений, выпадающих в осадок в случае увеличения их концентрации в природных водах. Гипсовые и ангидритовые породы, как раньше упоминалось, слагаются одноименными минералами - гипсом и ангидритом, которые в природных условиях в результате гидратации и дегидратации переходят друг в друга. Ангидрит отличается от гипса большей твердостью. Обычно он имеет светлые цвета - белый, зеленоватый, светло-серый, серовато-голубоватый. Гипс и ангидрит служат сырьем для получения вяжущих веществ, иногда их применяют в виде облицовочных изделий.

Аллитовые породы характеризуются высоким содержанием глинозема. В этой группе выделяют две главные породы: бокситы и латериты.

Бокситы. Породообразующими минералами бокситов являются гидрооксиды алюминия (гиббсит и диаспор). Бокситы характеризуются большим разнообразием внешнего вида. Они могут быть мягкими, рыхлыми, похожими на глину и плотными с раковистым изломом. Пластичностью бокситы не обладают. Окраска обусловлена наличием гидрооксидов железа. Чаще она бывает красная, бурая, коричневая, зеленовато-серая. Бокситы используют для производства алюминия, искусственных абразивов, огнеупоров, в качестве адсорбента при очистке нефтепродуктов.

Латериты состоят в основном из каолинита и гидроокислов железа, в меньшем количестве в них входят гидроокислы алюминия. Цвет их красный, бурый или желтый. Высокая стойкость против выветривания позволяет использовать их в качестве строительного материала.

Органогенные породы

К осадочным органогенным породам относятся биогенные кремнистые породы и органогенные известняки.

Биогенные кремнистые породы (силициды) сложены осадочным кремнеземом (опалом, халцедоном, кварцем). По морфологическому признаку выделяют пластовые и конкреционные кремнистые породы.

Главными разновидностями *пластовых кремнистых пород* являются диатомиты, радиоляриты, спонголиты, трепелы, опоки и яшмы. *Диатомиты* - легкие светлые тонкопористые породы, состоящие из опаловых скелетов диатомовых водорослей. *Радиоляриты* сложены опаловыми скелетами радиолярий, по внешнему виду они не отличаются от диатомитов. *Спонголиты* состоят преимущественно из опаловых спикул губок. *Трепелы* и *опоки* белые или серые, очень легкие, похожи на каолиновую глину или мел и состоят из опала, реже халцедона. *Яшмы* - массивные плотные неравномерно окрашенные породы с характерным раковистым изломом, состоят они из халцедона или мелкозернистого кварца с постоянной примесью тонкорассеянных гидрооксидов железа.

Конкреционные кремнистые породы встречаются значительно реже. Желваки или конкреции, сложенные осадочным кремнеземом, называют к р е м н я м и. Кремни могут быть рассеяны в различных породах-известняках, песчаниках, глинах.

Для кремнистых пород характерно водно-осадочное происхождение. Кремнезем, образовавшийся в результате химического выветривания магматических пород, а также при вулканических извержениях, поступал в водоемы (морские, реже озерные) и отлагался там благодаря коагуляции коллоидных растворов или в результате жизнедеятельности организмов, потреблявших его для построения скелетов.

Кремнистые породы находят разнообразное практическое применение. Яшмы используют как декоративный камень и в строительстве. Диатомиты, трепелы, опоки применяют для производства теплоизоляционных материалов, в виде минеральных добавок к вяжущим веществам (воздушной извести, портландцементу).

Органогенные известняки могут быть сложены целыми раковинами или обломками раковин различных морских беспозвоночных, а также остатками известковых водорослей. Органогенные известняки иногда слагают рифы. Рифостроящими организмами являются преимущественно известковые водоросли, кораллы и др.

Разновидность органогенных известняков - *мел*. Это микрозернистая слабоцементированная порода белого цвета.

Известняки-ракушечники применяют в строительстве. Способность легко распиливаться, небольшая плотность (от 0,8 до 1,8 г/см^3), малая теплопроводность - все это позволяет уменьшить толщину наружных стен зданий по сравнению с кирпичными, что снижает стоимость строительства.

В южных районах страны органогенные известняки-ракушечники являются распространенным материалом для кладки стен; наиболее же плотные разновидности известняков используют для кладки фундаментов, наружной (отчасти и внутренней) облицовки стен, а щебень применяют как заполнитель для бетона.

§ 4. Метаморфические горные породы

Метаморфизмом называют преобразование горных пород, происходящее в недрах земной коры под влиянием высоких температур и давлений. В этих условиях может происходить кристаллизация минералов без их плавления.

Главными факторами метаморфизма являются температура, давление и химически активные вещества-растворы и газы, под действием которых породы любого состава и генезиса (магматические, осадочные или уже ранее метаморфизированные) подвергаются изменениям.

При формировании структурно-текстурных особенностей метаморфических пород велика роль направленного давления. При одностороннем давлении кристаллы деформируются в направлении, перпендикулярном направлению наибольшего давления, и видоизмененные породы приобретают сланцевое строение (гнейс, глинистые сланцы и т.п.). Образуются специфические структуры с характерной закономерной ориентировкой минералов.

К химически активным веществам прежде всего относятся вода и углекислота, которые находятся в том или ином количестве почти во всех горных породах в виде так называемых "поровых" или "межзерновых" метаморфогенных растворов и газов. Перемещаясь из областей высоких давлений в зоны низких давлений (обычно снизу вверх), такие растворы активно участвуют в преобразовании минералов и пород, являются переносчиками химических элементов, тепла.

Главные породообразующие минералы

Минералы, слагающие метаморфические породы, можно разделить на следующие группы: минералы, широко распространенные как в метаморфических, так и в магматических породах (полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка, большинство пироксенов, оливин и др.); типичные для осадочных пород минералы (кальцит, доломит); минералы, которые могут находиться в

магматических породах в качестве вторичных, а также слагать типичные метаморфические породы (серпентин и др.); специфические метаморфические минералы, присутствие которых возможно только в глубоко преобразованных метаморфических породах.

Основные разновидности метаморфических горных пород

Кристаллические сланцы имеют мелкозернистое строение с полностью утраченными первичными текстурами и структурами. Цвет их от темно- до светло-серого. Основная часть породы состоит из зерен кварца, биотита и мусковита.

Некоторые разновидности глинистых, кремнистых, слюдистых и иных сланцев являются естественными кровельными материалами - *кровельными сланцами*. Эти сланцы легко раскалываются по плоскостям сланцеватости на ровные и тонкие (2-8 мм) плоские плитки. Они должны отвечать определенным требованиям: иметь достаточную плотность и вязкость, твердость, малое водопоглощение, высокую водостойкость, стойкость против выветривания. Плотность кровельных сланцев - около 2,7-2,8 г/см^3, пористость - 0,3-3%, предел прочности при сжатии - 50-240 МПа. Большое значение имеет также прочность на излом перпендикулярно сланцеватости.

Кровельные сланцы используют в производстве кровельных плиток и некоторых строительных деталей (плит для внутренней облицовки помещений, лестничных ступеней, плит для пола, подоконных досок и т.п.).

Гнейсы - породы метаморфического генезиса, образовавшиеся при температуре 600-800°С и высоком давлении. Исходными являются глинистые и кварцево-полевошпатовые породы. В состав гнейсов входят следующие минералы: кварц, биотит, роговая обманка, полевые шпаты. Текстура - массивная, полосчатая, структура - разнозернистая.

Гнейсы по механическим и физическим свойствам в свежем виде не уступают гранитам, однако сопротивление на излом параллельно сланцеватости у них в 1,5-2 раза меньше, чем в перпендикулярном направлении. По плоскостям сланцеватости они раскалываются на плиты, легко расслаиваются при замерзании и оттаивании.

Применяют гнейсы при бутовой кладке, для кладки фундаментов, в качестве материала для щебня и отчасти в виде плит для

мощения дорог. Щебень из сильно сланцеватого гнейса не используют для бетона и дорожного строительства, так как он получается непригодным по форме зерен.

Кварцитами называют мелкозернистые кварцевые или кремнистые песчаники, их образование связано с перекристаллизацией песчаников. Кварциты содержат 95-99% SiO_2. Важным свойством их является высокая огнеупорность - до 1710-1770°С и прочность на сжатие - 100-455 МПа.

В строительстве кварциты используют в качестве стенового камня, подферменных камней в мостах, бута, щебня и брусчатки, а кварциты с красивой и неизменяющейся окраской - для облицовки зданий. Кварциты, применяемые в качестве кислотоупорного материала, должны обладать высокой кислотоупорностью и малой пористостью.

Мрамор - мелко-, средне- и крупнозернистая плотная карбонатная порода, состоящая главным образом из кальцита и представляющая собой перекристаллизованный известняк. Прочность на сжатие - 100-300 МПа, но легко поддается обработке, вследствие плотности - хорошо полируется. Мрамор широко применяется для внутренней отделки стен зданий, ступеней лестниц и т.п. В виде песка и мелкого щебня (крошки) его используют для цветных штукатурок, облицовочного декоративного бетона и т.п. В условиях сульфатной коррозии для наружных облицовок мрамор не применяют. Добывают мрамор на Урале, Дальнем Востоке, в Карелии.

§ 5. Техногенные отходы*

Современная промышленность выпускает десятки тысяч наименований разнообразной продукции. В производство вовлекается во много раз больше исходного сырья, чем выпускается готовых продуктов. Например, на выпуск 1 т чугуна расходуется 1,5-2 т сырья, соответственно: алюминия - 3-10 т. никеля - 5-10 т, извести - 1,5-2 т, цемента - 1,4-1,7 т. При этом на разных стадиях технологического процесса возникают отходы.

*Этот параграф написан при участии доц., к.т.н. Н.А.Сканави.

Из отраслей, потребляющих промышленные отходы, наиболее емкой является промышленность строительных материалов, доля сырья которой в себестоимости продукции достигает 50% и более. ***Многие отходы по своему составу и свойствам близки к природному сырью.*** Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40% потребности строительства в сырьевых ресурсах. Применение промышленных отходов позволяет на 10-30% снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья. Кроме того, из промышленных отходов можно создавать новые строительные материалы с высокими технико-экономическими показателями.

Основными «производителями» многотоннажных отходов являются: горнообогатительная, металлургическая, химическая промышленности, энергетический комплекс, промышленность строительных материалов, агропромышленный комплекс, лесная и деревообрабатывающая, текстильная промышленность, бытовая деятельность человека. Наряду с термином «отходы производства», используются такие термины, как «побочные продукты промышленности», «вторичное сырье», «попутные продукты» и т.д. Суть основных понятий формулируется следующим образом.

Отходы производства - это все виды остатков данного производства, которые имеют какую-то потребительскую ценность и могут быть использованы в материальном производстве (как правило, после дополнительных технологических операций). **Побочные продукты промышленности** - продукты, получение которых не являлось целью производственного процесса и которые могут быть использованы как готовая продукция после соответствующей обработки или как сырье для переработки. **Вторичное сырье** - материалы и изделия, которые после полного первоначального использования (износа) могут применяться повторно в производстве как исходное сырье.

Все отходы можно разделить на две большие группы: минеральные и органические. Преобладающее значение имеют минеральные отходы: их больше, они лучше изучены и имеют наибольшее значение для производства строительных материалов.

В зависимости от преобладающих химических соединений отходы делят на силикатные, карбонатные, известковые, гипсовые, железистые, цинксодержащие, щелочесодержащие и т.д. В пределах каждой группы возможна более подробная классификация. Например, силикатные отходы в зависимости от процентного содержания кислотных и щелочных оксидов можно разделить на

ультраосновные, основные, средние, кислые, ультракислые. Чем выше основность, тем выше гидравлическая активность отходов.

Большая часть минеральных отходов состоит преимущественно из силикатов и алюмосиликатов кальция и магния. Это объясняется тем, что 86,5% массы земной коры составляют природные силикаты. Соответственно и отходы, получаемые при добыче и переработке природных силикатов, тоже имеют силикатный состав. Силикатные отходы классифицируются также по структуре и химическому составу, по условиям образования и т.д. Наибольшую практическую применимость имеет классификация отходов по отраслям промышленности их образующим и классификации для отдельных видов отходов.

Шлаки черной металлургии. Наибольшее значение для строительной индустрии и первое место по объему среди отходов черной металлургии имеют доменные шлаки - побочный продукт при выплавке чугуна из железных руд - доменные, мартеновские, ферромарганцевые. Выход шлаков очень велик и составляет от 0,4 до 0,65 тонны на одну тонну чугуна. В их состав входит до 30 различных химических элементов, главным образом в виде оксидов. Основные оксиды: SiO_2, $A1_2O_3$, CaO, MgO. В меньших количествах присутствуют FeO, MnO, P_2O_5, TiO_2, V_2O_5 и др.

В зависимости от величины модуля основности - отношение содержащихся в шлаке основных оксидов к сумме кислотных, %

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$$

все доменные шлаки делятся на кислые, их $M_o<1$ и основные, имеющие $M_o \geq 1$, они более активные. Состав шлака зависит от состава кокса, пустой породы, и определяет особенности применения шлака.

В производстве строительных материалов используется 75% общего количества доменных шлаков. Основным потребителем является цементная промышленность. Ежегодно она потребляет миллионы тонн гранулированного доменного шлака. Грануляция - наиболее ранний и освоенный вид первоначальной переработки доменного шлака. Она заключается в быстром охлаждении шлакового расплава, в результате чего шлак приобретает стекловидную структуру и, соответственно, высокую активность.

Сталеплавильные (мартеновские) шлаки применяются в меньшей степени. Трудности их использования связаны с неоднородностью, непостоянством химико-минералогического состава и физико-механических свойств. Кроме того, в них содержатся оксиды железа (до 27%).

Особую проблему представляет использование шлаков, ранее накопленных в отвалах.

Шлаки цветной металлургии чрезвычайно разнообразны по составу. Выход их на единицу выплавляемого металла гораздо больше. Так при выплавке 1 т меди выход шлака может достигать 10-30 т, а никеля -до 150 т. Основные оксиды, входящие в состав шлаков цветной металлургии: SiO_2, Al_2O_3, CaO, FeO, MnO и др.

Наиболее перспективное направление их использования - комплексная переработка: предварительное извлечение цветных и редких металлов из шлака; выделение железа; использование силикатного остатка шлака для производства строительных материалов.

При получении цветных металлов по ряду так называемых «мокрых» технологий образуются не шлаки, а шламы (буквальный перевод с немецкого - «грязь»). Это общее название осадков суспензий, получаемых в металлургических и химических производствах в результате процессов, осуществляемых гидрохимическим способом. Например, побочным продуктом при производстве алюминия является бокситовый шлам - рыхлый сыпучий материал красного цвета (другое название - красный шлам). Выход красного шлама от 1 до 2,5 т на 1 т глинозема, химический состав: SiO_2, $A1_2O_3$, CaO, Fe_2O_3, Na_2O и др.

При получении глинозема из нефелинового сырья в качестве побочного продукта образуется нефелиновый шлам. Иначе он называется белитовым шлемом, так как в основном состоит из мелких кристаллов белита - C_2S. Выход этого шлама на 1 т глинозема - 6 т.

Если глинозем получают из высокоалюминатных глин, в качестве побочного продукта образуется каолиновый шлам и т.д. Основное применение все эти шламы находят в цементном производстве.

Золы и шлаки тепловых электростанций (ТЭС) - минеральный остаток от сжигания твердого топлива.. Одна ТЭС средней мощности ежегодно выбрасывает в отвалы до 1 млн т золы и шлака, а ТЭС, сжигающая многозольное топливо, - до 5 млн т. По химическому составу топливные золы и шлаки состоят из SiO_2, Al_2O_3,

Fe_2O_3, CaO, MgO и др., а также содержат несгоревшее топливо. Используются топливные золы и шлаки всего на 3-4% от их ежегодного выхода.

На современных ТЭС уголь сжигают в пылевидном состоянии. Шлак образуется в результате слипания размягченных частиц золы в объеме топки и накапливается в шлаковом бункере под топкой. Размер зерен шлака 1-50 мм. Зола уносится из топки с дымовыми газами (зола уноса) и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах. Размер частиц золы менее 1 мм. Большинство зол имеют сферическую форму частиц, гладкую остеклованную фактуру поверхности. Размер сферических частиц колеблется от нескольких микрон до 50-60 мкм.

Золы и шлаки ТЭС возможно использовать при производстве практически всех строительных материалов и изделий.

Вскрышные породы - горнорудные отходы, отходы добычи разнообразных полезных ископаемых. Особенно большое количество этих отходов образуется при добыче открытым способом. По ориентировочным подсчетам в стране ежегодно образуется свыше 3 млрд. т отходов, которые являются неисчерпаемым источником сырья для промышленности строительных материалов. Однако в настоящее время они используются лишь на 6-7%. Вскрышные и «пустые» породы находят применение в зависимости от своего состава (карбонатные, глинистые, мергелистые, песчаные и т.д.).

Вскрышные породы - не единственные отходы горнодобывающей промышленности. Большое количество пустой породы поднимается на поверхность земли, измельчается и направляется в отвалы в виде хвостов обогащения. Горнообогатительные комбинаты сбрасывают в отвалы большое количество флотационных хвостов, образующихся, в частности, при переработке руд цветных металлов. В отвалах и хвостохранилищах накоплено более 60 млрд. т техногенных материалов.

Попутнодобываемые породы и отходы промышленной переработки рудных полезных ископаемых отличаются по генезису, минеральному составу, структуре и текстуре от традиционно применяемых при производстве строительных материалов. Это объясняется существенным отличием глубин карьеров по добыче сырья для стройиндустрии (20-50 м) по сравнению с современной разработкой рудных месторождений (350-500 м).

Отходы угледобычи и углеобогащения образуются на углеобогатительных фабриках. Их ежегодный выход по странам СНГ около 50 млн т. Для отходов угледобычи характерно постоянство состава, что их выгодно отличает от других видов минеральных отходов твердого топлива. В состав углесодержащей породы входят SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, H_2O, S.

Гипсовые отходы химической промышленности - продукты, содержащие сульфат кальция в той или иной форме. Научные исследования показали полноценную заменимость традиционного гипсового сырья отходами химической промышленности.

Фосфогипс - отход при производстве фосфорных удобрений из апатитов и фосфоритов. Он представляет собой $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ с примесями неразложившегося апатита (или фосфорита) и неотмытой фосфорной кислоты. За счет использования фосфогипса можно полностью покрыть потребности нашей страны в гипсе.

Фторгипс (фторангидрит) - побочный продукт при производстве фтористоводородной кислоты, безводного фтористого водорода, фтористых солей. По составу это $CaSO_4$ с примесями исходного неразложившегося флюорита. Он может содержать также неотмытую серную кислоту.

Титаногипс - отход при сернокислотном разложении титансодержащих руд. *Борогипс* - отход производства борной кислоты. *Сульфогипс* получается при улавливании серного ангидрида из дымовых газов ТЭС.

Отходы древесины и лесохимии. Ежегодно в стране накапливается около 500 млн. м³ отходов растительного происхождения, из них - 160 млн. м³ остаются невывезенными на лесосеках, 120 млн. м³ теряются при последующей деревообработке. Лишь 1/6 часть всех отходов перерабатывается на технологическую щепу для целлюлозно-бумажной промышленности и промышленности строительных материалов.

Практически не используются такие отходы деревообработки, как кора, пни, вершины, ветви, сучья. Достаточно широкое применение находят горбыль, стружка, щепа, опилки.

Отходы целлюлозно-бумажной промышленности - осадки сточных вод и другие промышленные шламы. Скоп - продукты, получившиеся в результате механической очистки сточных вод. Это грубодисперсные примеси, состоящие в основном из волокон целлюлозы и частиц каолина. Активный ил - продукт биологической очистки сточных вод, находящийся в виде коллоидов и молекул. Шламы - продукты физико-химической очистки.

Отходы промышленности строительных материалов. При получении цементного клинкера до 30% объема обжигаемого продукта уносится с дымовыми газами из печей в виде пыли. Эта пыль улавливается и возвращается в производство. Также она может использоваться для раскисления почв и в производстве вяжущих веществ.

Кирпичный бой, старый и бракованный бетон используются в качестве искусственного щебня. Бетонный лом - отход предприятий сборного железобетона и строительных объектов. Огромные объемы реконструкции жилого фонда, промышленных предприятий, транспортных сооружений, автодорог и т.д. ставят важную научно-техническую задачу по разрушению и переработке отходов бетона и железобетона. Эти отходы кроме бетонного лома содержат миллионы тонн металла. Разработаны различные технологии разрушения строительных конструкций, а также специальное оборудование для переработки некондиционного бетона и железобетона.

Пиритные огарки - отходы при получении серной кислоты из пирита FeS. Складирование их требует отчуждения больших площадей земли. Известно их исключительно вредное и неуправляемое воздействие на окружающую среду. Под действием атмосферных осадков из хранящихся под открытым небом пиритных огарков выщелачивается ряд токсичных веществ, например мышьяк. Их состав в основном представлен железом (40-63%), имеются серебро и золото (1 г на 1 т) и некоторые редкие элементы.

Электротермофосфорные шлаки - отходы производства фосфорной кислоты, получаемой по так называемому электротермическому способу. В гранулированном виде содержат 95-98% стекла. Основные оксиды, входящие в их состав, SiO_2 и CaO.

Прочие отходы и вторичные ресурсы - отходы и бой стекла, макулатура, тряпье, резиновая крошка, отходы и попутные продукты производства полимерных материалов, попутные продукты нефтехимической промышленности и т.д.

Важнейшие виды строительных материалов, получаемые из вышеперечисленных отходов промышленности, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Отходы промышленности, используемые в производстве строительных материалов

Отходы	Материалы
Шлаки черной металлургии: доменные мартеновские ферромарганцевые	Портландцемент (производство клинкера), портландцемент с минеральной добавкой, шлакопортландцемент, смешанные бесцементные вяжущие, заполнители для бетонов, шлаковая вата, шлакоситаллы и т.д.
Отходы цветной металлургии: шлаки (медеплавильных печей, никелевого производства, свинцовой шахтной плавки и т.д.) шламы (бокситовый, нефелиновый, каолиновый, бокситонефелиновый и др.)	Вяжущие автоклавного твердения, песок и щебень, портландцемент (производство клинкера), нефелиновый цемент, материалы для укрепления грунтов, огнеупоры, теплоизоляционные материалы и т.д.
Золы и шлаки тепловых электростанций	Вяжущие, пористый гравий, газобетон, силикатные изделия, добавки к керамике и т.п.
Вскрышные породы: вскрышные и пустые породы хвосты обогащения флотационные хвосты	Портландцемент (производство клинкера), воздушная известь, минеральная вата, стекло, пигменты, керамический кирпич, силикатный кирпич, заполнители для бетонов и т.д.
Отходы угледобычи и углеобогащения: Коксохимических предприятий углеобогатительных фабрик Шахтные негорелые породы	Пористый заполнитель для бетона, керамический кирпич, материалы для строительства дорог
Гипсовые отходы химической промышленности: фосфогипс, фторгипс, титаногипс, борогипс, сульфогипс	Замена традиционного гипсового сырья
Отходы древесины и лесохимии: кора, пни, вершины, ветви, сучья, горбыль, стружки, щепа, опилки, лигнин, скоп и т.д.	Арболит, фибролит, ДВП, ДСП, столярные плиты, опилкобетон, ксилолит, клееные изделия, щитовой паркет, драпь, лигноуглеводные древесные пластики, королит, блоки из сучков, плиты из цельной коры, выгорающие добавки, пластифицирующие добавки, отделочные материалов, кровельный картон и т.д.

Продолжение табл.3.2

Отходы промышленности строительных материалов: цементная пыль каменная пыль, крошка кирпичный бой бракованный и старый бетон и т.д.	Портландцемент, заполнители для бетона, минеральный наполнитель, добавки, смешанные вяжущие вещества и т.д.
Пиритные огарки	Портландцемент (корректирующая добавка)
Электротермофосфорные шлаки	Портландцемент (компонент сырьевой смеси), ШПЦ, сульфатостойкий ШПЦ, литой щебень, шлаковая пемза, стеновая керамика (компонент шихты)
Прочие отходы и вторичные ресурсы: стекольный бой и отходы стекла макулатура тряпье изношенные шины и т.д.	Стекло, наполнитель для асфальта, добавка при производстве стеновой керамики, пористый заполнитель для бетона, кровельный картон, изол, фольгоизол и т.д.

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите основные породообразующие минералы.
2. Назовите три группы горных пород по условиям их образования (по генетическому признаку).
3. Какие горные породы используются для производства строительных материалов, например, вяжущих, бетонов, растворов?
4. Какие техногенные отходы могут быть использованы для производства строительных материалов?

Дополнительная литература

1. *Короновский Н.В., Якушева А.Ф.* Основы геологии. - М.: Высшая школа, 1991.
2. *Толстой М.П.* Геология с основами минералогии. - М.: ВО Агропромиздат, 1991.
3. *Лесовик В. С.* Строительные материалы из отходов горнорудного производства Курской магнитной аномалии. - Белгород, 1996.
4. *Боженов П.И.* Комплексное использование минерального сырья и экология. - М., 1994.

РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Глава IV. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Природный камень служил основным строительным материалом еще первобытному человеку. Все древние постройки: храмы, дворцы, крепости, мосты, акведуки, ритуальные сооружения возводились из природного камня и поражают современного человека, как удивительные «Чудеса Света». Во многих странах: Египте, Мексике, Греции, Италии, Китае, Камбодже, Индии сохранилось большое количество выдающихся памятников каменного зодчества, являющихся архитектурно-строительной составляющей древнейших цивилизаций, существовавших на Земле.

Каменные природные материалы очень прочны, долговечны, огнестойки, изготовлены из местного сырья. В наше время природные плотные каменные материалы уже не используются для возведения стен, арок, куполов, колонн и других несущих конструкций, т.к. они трудоемки, обладают большой массой и высокой теплопроводностью. Но из-за положительных эксплуатационных и эстетических качеств продолжают широко применяться для облицовочных работ, устройства полов, дорожных покрытий и пр. Пористые природные материалы применяются в конструкциях стен жилых и общественных зданий в виде стеновых камней и блоков. Отходы горнодобывающей и камнеобрабатывающей промышленности используются в качестве заполнителя для бетонов, изготовления других искусственных каменных изделий на минеральном и органическом вяжущем.

§ 2. Обработка природных каменных материалов

По виду обработки природные каменные материалы делят на следующие основные виды: грубо обработанные (бутовый камень, валунный камень, щебень, гравий и песок); изделия и профилированные детали из природного камня; штучный камень и блоки правильной формы (для кладки стен и др.); плиты с различно обработанной поверхностью (облицовочные для стен, чистого пола и др.); профилированные детали (ступени, подоконники, пояски, наличники, капители колонн и т.п.); изделия для до-

рожного строительства (бортовой камень, брусчатка, шашка для мощения).

По способу изготовления природные каменные материалы и изделия можно разделить на: пиленые (стеновые камни и блоки, облицовочные плиты и плиты для пола) и колотые (бортовые камни, камни тесаные, брусчатка, шашка для мощения и др.).

Используя ударную и абразивную обработку, природному камню придают ту или иную фактуру - различный характер поверхности.

Ударная обработка заключается в обкалывании поверхности камня с помощью камнетесаного инструмента со сменными наконечниками: для тески пользуются широким долотом-скарпелью, скалывание неровностей производят спицей - остроконечным долотом, для чистой обработки лицевой поверхности применяют бучарду со средней или мелкой насечкой.

Ударная обработка дает возможность получить следующие фактуры (рис. 4.1): *фактуру скалы с буграми и впадинами*, как при естественном расколе породы; *рифленую* с правильным чередованием гребней и впадин глубиной до 2 мм; *бороздчатую* - с параллельными прерывистыми бороздками глубиной 0,5-1 мм; *точечную* -шероховатую с точечными углублениями 0,5-2 мм.

Абразивная обработка включает распиливание, фрезерование, шлифовку и полировку.

Выпиливание штучных стеновых камней и блоков из пористых пород производят камнерезными машинами. Режущими элементами машин являются дисковые пилы. Быстровращающиеся стальные диски имеют на ободе резцы, армированные твердыми сплавами или алмазами.

Распиливание блоков из мрамора, известняка и других пород ведут при помощи рамных пил, армированных твердосплавными вставками или снабженных алмазными резцами. Алмазные резцы увеличивают скорость резания в 5-10 раз и снижают расход электроэнергии в 2-2,5 раза по сравнению с резцами карборундовыми или из твердых сплавов. Кроме того, алмазные резцы позволяют значительно увеличить выход готовой продукции. Ширина пропила сокращается примерно в 3 раза, а расход сырья - на 12-18%. Алмазными резцами можно изготавливать тонкие плиты толщиной всего 5-10 мм, поэтому из 1 м камня получают 40-45 м плит, что обуславливает их низкую себестоимость. К тому же обеспечивается высокая чистота поверхности резания.

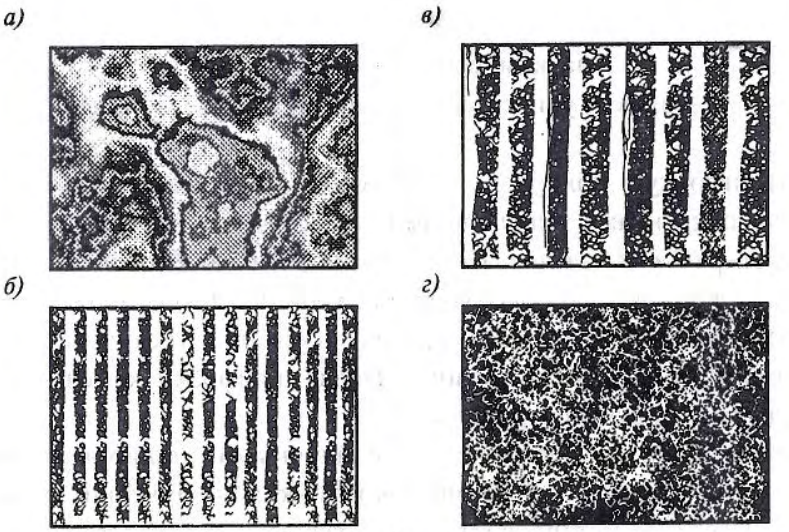


Рис.4.1. Виды фактур камня:
а) бугристая фактура скалы; *б)* рифленая; *в)* бороздчатая; *г)* точечная

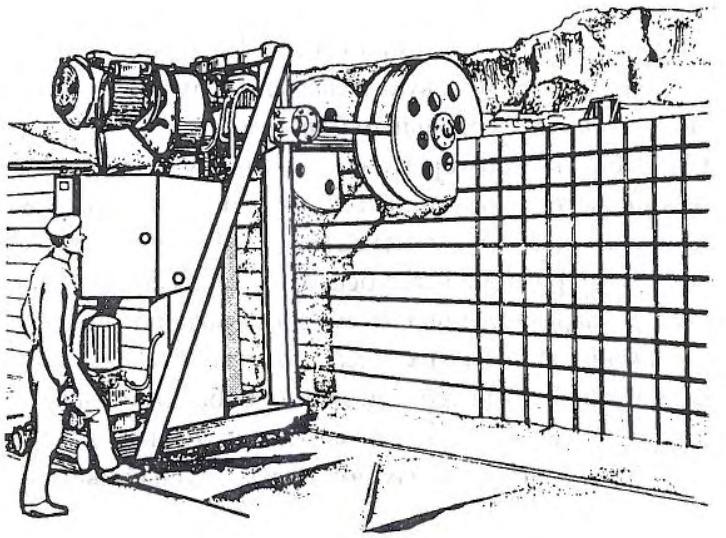


Рис.4.2. Камнерезная машина с дисковыми пилами

Для получения профилированных изделий (ступеней, поясков, карнизов и т.п.) на камнеобрабатывающих заводах применяют камнефрезерные и универсальные профилирующие машины (рис. 4.2).

Шлифовку и полировку производят на шлифовально-полировальных станках с вращающими дисками, которые перемещают по поверхности изделия. Шлифуют с применением зернового абразива: корунда, карбокорунда или мелких пылевидных алмазов, применение которых, как и при распиливании, увеличивает производительность оборудования. После шлифовки камень имеет гладкую матовую поверхность.

Полировка осуществляется войлочными полировальными дисками с использованием мастик и тонких полирующих порошков из оксидов металлов (хрома, олова, железа и др.) или азотнокислого олова. После полировки поверхность плотного камня становится зеркально гладкой.

Абразивная обработка дает фактуры: *пиленую* - с тонкими штрихами и бороздками глубиной до 2 мм; *шлифованную* - равномерно шероховатую с глубиной рельефа до 0,05 мм; *лощеную-гладкую* бархатисто-матовую с выявленным рисунком камня; *зеркальную-гладкую* с зеркальным блеском.

Для обработки некоторых видов горных пород применяют **термический** метод, основанный на воздействии струи газа с высокой температурой. Она достигается сжиганием бензина в воздушной струе. При обработке бензовоздушными термоотбойниками камень нагревается неравномерно и возникающие термические напряжения вызывают скалывание верхнего слоя. В некоторых случаях с помощью термической обработки оплавляется поверхностный слой камня, что позволяет получить своеобразную "глазурованную" фактуру и изменить естественный цвет породы.

§ 3. Классификация природных изделий по эксплуатационно-техническим свойствам

По показателям **плотности** природные камни .делятся на легкие и тяжелые. Легкие камни плотностью не более 1,8 г/см³ имеют пористое строение (вулканический туф, пемза, известняк-ракушечник) и поэтому применяются преимущественно в виде штучного камня и блоков для стен зданий и щебня для легких бетонов.

Тяжелые камни плотностью более 1,8 г/см³ (из гранита, сиенита, диорита и т.п.) служат облицовкой и используются в виде плит пола, материалов и изделий для гидротехнического и дорожного строительства.

Прочность. По пределу прочности при сжатии образцов в воздушно-сухом состоянии природные каменные материалы делят на марки (МПа): 0,4; 0,7; 1,5; 2,5; 3,5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 80 и 100. Марки с 0,4 до 20 свойственны легким камням различной пористости.

Морозостойкость. По числу циклов попеременного замораживания и оттаивания, выдержанных образцами в условиях стандартного испытания, природные каменные материалы разделяют на марки по морозостойкости: 10; 15; 35; 100; 150; 200; 300 и 500. Высокую морозостойкость имеют плотные камни с равномернозернистой структурой. Камни с неравномерным порфировым строением быстрее растрескиваются при резких изменениях температуры вследствие различия коэффициентов температурного расширения мелкокристаллической массы и крупных вкрапленников. Свежедобытые известняки, доломиты, песчаники, туфы легко разрушаются от мороза вследствие того, что их поры заполнены "горной влагой" и коэффициент насыщения пор водой близок к 1. После естественной просушки они оказываются достаточно морозостойкими и более прочными.

Водостойкость. Коэффициент размягчения камня, применяемого для гидротехнических сооружений и фундаментов, должен быть не менее 0,8, для наружных стен зданий - не менее 0,6.

Истираемость и износ. Эти свойства природного каменного материала имеют важное значение при устройстве дорожных покрытий, полов, лестниц и т.п. Мелкокристаллические материалы при истирании становятся слишком скользкими, поэтому для лестниц, полов и дорожных покрытий следует применять среднезернистые материалы, которые при истирании остаются немного

шероховатыми. При выкрашивании крупных зерен в процессе истирания в камне образуются выбоины.

Огнестойкость зависит от минерального состава камня. Некоторые материалы при повышенной температуре разлагаются (гипс при 100°С, известняк при 900°С), другие (например, гранит, порфиры) растрескиваются при пожаре вследствие различного теплового расширения составляющих их минералов.

В зависимости от назначения и условий применения природные каменные материалы оценивают также по твердости, стойкости химическому воздействию внешней среды и т.п.

§ 4. Характеристика и применение природных каменных изделий

Грубообработанные каменные изделия

Бутовый камень (бут) - куски камня неправильной формы, размером не более 50 см по наибольшему измерению. Бутовый камень может быть рваный (неправильной формы) и постелистый. Для получения рваного бута и щебня разработку пород осуществляют преимущественно взрывным способом. Плитняковый бут получают из пород пластового залегания. Крупные отдельности такой породы, ограниченные трещинами, отделяют экскаватором с последующей развалкой кусков до требуемых размеров камнекольным инструментом..

Бутовый камень получают разработкой местных осадочных и изверженных пород, отвечающих проектным требованиям в отношении прочности, морозостойкости, водостойкости. Бут из осадочных пород (известняков, доломитов, песчаников) не должен содержать примесей глины, рыхлых прослоек и включений пирита.

Из бута возводят плотины и другие гидротехнические сооружения, его применяют для подпорных стенок, кладки фундаментов и стен неотапливаемых зданий. Большое количество бутового камня перерабатывается в щебень.

Щебень - куски камня размером 5-70 мм (для гидротехнического строительства до 150 мм). Получают его дроблением бутового камня. Для обеспечения нужного зернового состава щебня процесс дробления осуществляют в несколько стадий. Встречается и природный щебень, называемый дресвой.

Гравий состоит из окатанных зерен тех же размеров, что и у щебня. Его получают просеиванием рыхлых осадочных пород, в

необходимых случаях применяют промывку для удаления вредных примесей (глины, пыли).

Песок состоит из зерен различных минералов (кварца, полевого шпата, слюды и др.) с размерами 0,16-5 мм. Применяют природные и искусственные (дробленые) пески.

Щебень, гравий и песок используют в качестве заполнителей для бетонов. Предприятия-поставщики на эти материалы должны выдавать сертификат радиационно-гигиенической оценки о содержании естественных радионуклидов.

Камни и плиты

Стеновые камни получают из туфов и пористых известняков путем выпиливания механизированным способом из массива горной породы или распиловки блоков-заготовок. Камни применяют для кладки наружных и внутренних стен и перегородок.

Основные размеры стеновых камней: 390x190x188; 490x240x188; 390x190x288 мм. Каждый такой камень заменяет в кладке 8-12 кирпичей. Целесообразно изготовлять и применять стеновые **блоки** объемом не менее 0,1 м^3 из туфа, известняка, доломита, песчаника или пористого андезита (рис. 4.3). Укрупнение камней уменьшает затраты труда, позволяет перейти к индустриальным методам строительства. Стены из мелкопористого природного камня не требуют наружной штукатурки или облицовки.

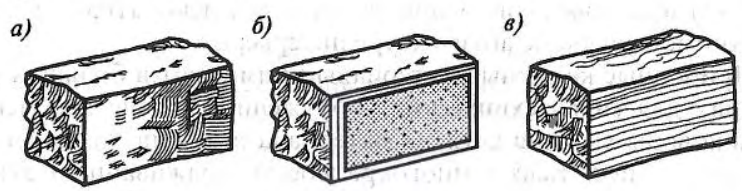


Рис. 4.3. Блоки:
а) колотый; *б)* тесаный; *в)* пиленый

Для наружных стен применяют камни плотностью не более 2300 кг/м^3. Водопоглощение камня должно быть не более 30%, морозостойкость - не менее 15.

Для облицовки гидротехнических сооружений, набережных, устоев мостов, цокольной части монументальных зданий применяют камни и **плиты** из гранита и других изверженных пород, которым свойственна высокая морозостойкость, прочность и твердость. Камни для облицовки могут быть плитообразные

(толщиной 15-25 см), утолщенные пирамидального вида (толщиной 30 см и более).

Наружная облицовка зданий может выполняться из атмосферостойких осадочных пород (известняков, доломитов, песчаников, туфов), которые легче поддаются обработке и экономнее гранитных пород. Для внутренней облицовки общественных зданий и сооружений (например, станций метрополитена) широко используют плиты, получаемые из хорошо распиливающихся пород: мрамора, ангидрида, гипса.

Плиты для наружной облицовки имеют толщину 4-8 см, для внутренней - 1,2-4 см. Применение алмазных резцов позволяет изготовлять тонкие (5-10 мм) экономичные плиты, стоимость которых в 2-4 раза ниже, чем обычных. Тонкие плиты находят широкое применение, особенно для внутренней облицовки.

Специальные облицовки применяют для защиты от коррозии и действия высоких температур. Для защиты от растворов кислот (кроме плавиковой и кремнефтористоводородной) используют андезит, гранит, сиенит, диабаз, кварцит, кремнистый песчаник и другие кислотостойкие породы.

Цокольные плиты, а также детали карнизов, поясков и других выступающих частей сооружений изготовляют из стойких пород. Эти изделия не должны иметь волосных трещин, им придается такая форма, чтобы на них не задерживалась вода от дождя и тающего снега.

Плиты для полов и каменных ступеней внутренних лестниц должны иметь высокие износостойкость и декоративные свойства, соответствующие архитектуре интерьера.

Природные каменные материалы применяют в больших количествах для **гидротехнических** сооружений. В зоне переменного уровня воды условия службы материала особенно неблагоприятны: камень испытывает многократное замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии. Защитную облицовку в этой зоне устраивают из плотных изверженных пород, имеющих водопоглощение не более 1%, марку по прочности - не ниже 80-100 МПа и по морозостойкости - 150-500 в зависимости от класса сооружения, климатических и других условий эксплуатации. Соответствующим требованиям должны удовлетворять и материалы для каменных набросных плотин. Внутренние части набросок можно сделать из камня, полученного из осадочных пород марок 30-60 МПа с коэффициентом размягчения не менее 0,7-0,8. Каменные материалы проверяют на влияние веществ, растворенных в воде (морской, грунтовой, речной, болотной).

Бортовые камни, отделяющие проезжую часть дороги от тротуара, изготовляют из плотных изверженных пород (гранита, диабаза и т.п.), отличающихся высокой морозо- и износостойкостью и прочностью. Бортовые камни бывают прямые и лекальные, высокие - до 40 см и низкие - до 30 см. Эти камни применяют вместо бетонных при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Брусчатка для мощения дорог имеет форму бруска, слегка суживающегося книзу. Брусчатку изготовляют механизированным способом из однородных мелко- и среднезернистых пород (диабаза и др.). Из таких пород изготовляют шашку для мозаиковой мостовой (приближающуюся по форме к кубу) и шашку для мощения (в виде усеченной пирамиды).

Тротуарные плиты изготовляют из гнейсов и подобных ему слоистых горных пород. Они имеют форму прямоугольной или квадратной плиты со стороной 20-80 см с ровной поверхностью, толщиной не менее 4 см и не более 15 см.

Каменные кислотоупорные изделия

Некоторые магматические и метаморфические (кварциты) горные породы используют для футеровки разнообразных установок и аппаратов, подвергающихся действию кислот, щелочей, солей и агрессивных газов, а также испытывающих влияние высоких и резко меняющихся температур и давлений. Кислотоупорные породы идут на изготовление тесаных плит, кирпичей, брусков и фасонных изделий, а в дробленном и размолотом виде служат в качестве заполнителей и наполнителей в кислотоупорном бетоне, являются составными частями кислотоупорных цементов.

В соответствии с назначением применяемые горные породы должны удовлетворять определенным требованиям, а именно: быть кислотоупорными, т.е. хорошо сопротивляться воздействию различных кислот и других реагентов; это свойство оценивается по растворимости порошка породы в концентрированных кислотах (соляной, серной) при нагревании; иметь высокую огнеупорность; обладать достаточным сопротивлением сжатию и изгибу, а также вязкостью; выдерживать резкие колебания температур.

Из изверженных горных пород кислотоупорными являются главным образом кислые мелкокристаллические, к которым относятся бештаунит, андезиты, граниты и некоторые туфы, а из метаморфических - кварциты.

Применение кислотоупорного штучного камня ограничено его высокой стоимостью, обусловленной трудностью добычи и обработки, а также малым выходом готовой продукции из горной массы. Полноценным заменителем камня служит значительно более дешевый кислотоупорный бетон. Со штучным тесаным камнем соперничает также искусственный литой камень (базальтовый, диабазовый).

§ 5. Предохранение каменных материалов от разрушения

Основные причины разрушения природных каменных материалов в сооружениях: замерзание воды в порах и трещинах, вызывающие внутренние напряжения; частое изменение температуры и влажности, вызывающее появление в материале микротрещин; растворяющее действие воды и понижение прочности при водонасыщении; химическая коррозия, происходящая под действием газов, содержащихся в атмосфере (SO_2, CO_2 и др.), и веществ, растворенных в грунтовой или морской воде.

Конструктивную защиту открытых частей сооружений (цоколей, карнизов, поясков, столбов, парапетов) сводят к приданию им такой формы, которая облегчает отвод воды. Этому же способствует гладкая полированная поверхность облицовки и профилированных деталей. Стойкость пористых каменных материалов, которые не полируются, повышают путем пропитки поверхностного слоя уплотняющими составами и нанесения на лицевую поверхность гидрофобизующих (водоотталкивающих) составов. Кремнефторизацию (или флюатирование) применяют для повышения стойкости наружной облицовки и других материалов, полученных из карбонатных пород. При пропитывании известняка раствором флюата (соли кремнефтористоводородной кислоты) происходит химическая реакция

$$2CaCO_3 + MgSiF_6 = 2CaF_2 + MgF_2 + SiO_2 + 2\,CO_2.$$

Полученные нерастворимые в воде вещества CaF_2, MgF_2 и SiO_2 отлагаются в порах и уплотняют лицевой слой камня. В результате этого уменьшается его водопоглощение и возрастает морозостойкость; облицовка из камня меньше загрязняется пылью.

Некарбонатные пористые каменные материалы предварительно обрабатывают водными растворами кальциевых солей (например, $CaCl_2$), а после этого пропитывают флюатами.

Гидрофобизация, т.е. пропитка гидрофобными составами (например, кремнийорганическими жидкостями), понижает проникновение влаги в пористый камень, в частности, при капиллярном

подсосе. Применяют для защиты камня от коррозии пленкообразующие полимерные материалы - прозрачные и окрашенные. Также пропитывают поверхность камня мономером с последующей его полимеризацией.

Вопросы для самоконтроля

1. Как добывают и обрабатывают природный камень?
2. Какие виды природных каменных материалов применяются в строительстве?
3. Где применяют плотные природные каменные материалы и где пористые?
4. Как предохранить каменные материалы в сооружениях от разрушения?

Дополнительная литература

1. *Сычев Ю.И.* Распиловка камня. - М.: Стройиздат, 1989.
2. *Осколков В.А.* Облицовочные камни месторождений СССР. - М.: Недра, 1984.
3. *Лебединский В.И.* В удивительном мире камня. - М: Недра, 1978.
4. *Петров В.П.* Сложные загадки простого строительного камня. - М.: Недра, 1984.

А. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Глава V. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Керамическими называют искусственные каменные материалы и изделия, полученные в процессе технологической обработки минерального сырья и последующего обжига при высоких температурах. Название "керамика" происходит от греческого слова “keramos” - глина. Поэтому под технологией керамики всегда подразумевали производство материалов и изделий из глинистого сырья и смесей его с органическими и минеральными добавками. Материал, из которого состоят керамические изделия после обжига, в технологии керамики называют *керамическим черепком.*

Глины всегда в истории человечества были и являются одним из основных видов строительных материалов. Вначале - 8000 лет до н.э. - глины применялись в необожженном виде для глинобитного строительства и изготовления саманного и сырцового кирпича. 3500 лет до н.э. отмечается начало применения керамического кирпича, а 1000 лет до н.э. - глазурованного кирпича и черепицы. С середины первого тысячелетия в Китае начинается производство изделий из фарфора. В России первый кирпичный завод был построен в Москве в 1475 г., а в 1744 году в Петербурге начал работать первый фарфоровый завод. В конце XVIII - середине XIX в. бурное развитие металлургической, химической и электротехнической промышленности привело к развитию производства огнеупорной, кислотоупорной, электроизоляционной керамики и плиток для полов. С начала текущего столетия получило развитие производство эффективного кирпича и пустотелых камней для возведения стен и перекрытий, а также керамических плиток для внутренней и наружной отделки и санитарно-технических изделий. В последнее время получило распространение производство специальной керамики с уникальными свойствами для нужд ядерной энергетики, машиностроения, электронной, ракетной и других отраслей промышленности. Большой практический интерес имеют керметы, состоящие из металлической и керамической частей.

В понятие керамические материалы и изделия входит широкий круг материалов с различными свойствами.

Их классифицируют по ряду признаков.

По **назначению** керамические изделия подразделяют на следующие виды: стеновые, отделочные, кровельные, для полов, для перекрытий, дорожные, санитарно-технические, кислотоупорные, теплоизоляционные, огнеупорные и заполнители для бетонов.

По **структуре** различают керамические изделия с пористым и спекшимся (плотным) черепком. Пористыми считают изделия с водопоглощением по массе более 5%. К ним относятся изделия как грубой (керамические стеновые кирпич и камень, изделия для кровли и перекрытий, дренажные трубы), так и тонкой (облицовочные плитки, фаянсовые) керамики. К плотным относят изделия с водопоглощением по массе менее 5%. К ним принадлежат также изделия и грубой (клинкерный кирпич, крупноразмерные облицовочные плиты), и тонкой (фаянс, полуфарфор, фарфор) керамики.

По **температуре плавления** керамические материалы и изделия подразделяются на легкоплавкие (с температурой плавления ниже 1350°С), тугоплавкие (с температурой плавления 1350°С-1580°С),

огнеупорные (1580°С-2000°С), высшей огнеупорности (более 2000°С).

Возможность получения любых заданных свойств, широкая номенклатура, большие запасы повсеместно распространенного сырья, сравнительная простота технологии, высокая долговечность и экологическая безвредность керамических материалов обеспечивают им одно их первых мест по значимости и объемам производства среди других строительных материалов. Так выпуск керамического кирпича составляет около половины объема всех стеновых материалов.

§ 2. Сырье для производства керамических материалов

Основным сырьевым материалом для производства строительных керамических изделий является глинистое сырье, применяемое в чистом виде, а чаще в смеси с добавками - отощающими, породообразующими, плавнями, пластификаторами и др.

Глинистое сырье

Глинистое сырье (глины и каолины) - продукт выветривания изверженных полевошпатных горных пород, содержащий примеси других горных пород. Глинистые минеральные частицы диаметром 0,005 мм и менее обеспечивают способность при затворении водой образовывать пластичное тесто, сохраняющее при высыхании приданную форму, а после обжига приобретающее водостойкость и прочность камня.

Помимо глинистых частиц в составе сырья имеется определенное содержание пылевидных частиц с размерами зерен 0,005-0,16 мм и песчаных частиц с размерами зерен 0,16-2 мм.

Глинистые частицы имеют пластинчатую форму, между которыми при смачивании образуются тонкие слои воды, вызывая набухание частиц и способность их к скольжению относительно друг друга без потери связности. Поэтому глина, смешанная с водой, дает легко формуемую пластичную массу. При сушке глиняное тесто теряет воду и уменьшается по объему. Этот процесс называется *воздушной усадкой*. Чем больше в глинистом сырье глинистых частиц, тем выше пластичность и воздушная усадка глин. В зависимости от этого глины подразделяются на высокопластичные, среднепластичные, умеренно-пластичные, малопла-

стичные и непластичные. **Высокопластичные** глины имеют в своем составе до 80-90% глинистых частиц, число пластичности более 25, водопотребность более 28% и воздушную усадку 10-15%. **Средне- и умеренно-пластичные** глины имеют в своем составе 30-60% глинистых частиц, число пластичности 15-25, водопотребность 20-28% и воздушную усадку 7-10%. **Малопластичные** глины имеют в своем составе от 5% до 30% глинистых частиц, водопотребность менее 20%, число пластичности 7-15 и воздушную усадку 5-7%. Непластичные глины не образуют пластичное удобоформуемое тесто.

Глины с содержанием глинистых частиц более 60% называют "жирными", отличаются высокой усадкой, для снижения которой в глины добавляют "отощающие" добавки. Глины с содержанием глинистых частиц менее 10-15% - "тощие" глины, в них при производстве изделий вводят тонкодисперсные добавки, например, бентонитовую глину.

Различное сочетание химического, минералогического и гранулометрического состава компонентов обуславливает различные свойства глинистого сырья и пригодность его для получения керамических изделий тех или иных свойств и назначения.

Гранулометрический состав глин тесно связан с минералогическим составом. Песчаные и пылевидные фракции представлены главным образом в виде остатков первичных минералов (кварца, полевого шпата, слюды и др.). Глинистые частицы в большинстве своем состоят из вторичных минералов: каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, монтмориллонита $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 4H_2O$, гидрослюдистых и их смесей в различных сочетаниях.

Глины с преобладающим содержанием каолинита имеют светлую окраску, слабо набухают при взаимодействии с водой, характеризуются тугоплавкостью, малопластичны и малочувствительны к сушке.

Глины, содержащие монтмориллонит, весьма пластичны, сильно набухают, при формовке склонны к свилеобразованию, чувствительны к сушке и обжигу с проявлением искривления изделий и растрескивания. Высокодисперсные глинистые породы с преобладающим содержанием монтмориллонита называют *бентонитами*. Содержание в них частиц размером менее 0,001 мм достигает 85-90%. Образцы с преобладанием в глинистой части гидрослюдистых минералов характеризуются промежуточными показателями пластичности, усадки и чувствительности к сушке.

Химический состав глин выражается содержанием и соотношением различных оксидов. В керамическом сырье содержание

важнейших оксидов колеблется в широких пределах: SiO_2 - 40-80%; Al_2O_3 - 8-50%; Fe_2O_3 -0-15%; CaO - 0,5-25%; MgO - 0-4%; R_2O - 0,3-5%. С увеличением содержания Al_2O_3 повышается пластичность и огнеупорность глин, а с повышением содержания SiO_2 - пластичность глин снижается, увеличивается пористость, снижается прочность обоженных изделий. Присутствие оксидов железа снижает огнеупорность глин, тонкодисперсного известняка придает светлую окраску и понижает огнеупорность глин, а камневидные включения его являются причинами появления "дутиков" и трещин в керамических изделиях. Оксиды щелочных металлов (Na_2O и K_2O) являются сильными плавнями, способствуют повышению усадки, уплотнению черепка и повышению его прочности. Наличие в глинистом сырье растворимых солей сульфатов и хлоридов натрия, кальция, магния и железа вызывает появление белых выцветов на поверхности изделий.

Для изготовления отдельных видов огнеупорных теплоизоляционных изделий применяют глинистое сырье из трепелов и диатомитов, состоящие в основном из аморфного кремнезема, а для производства легких заполнителей используют перлит, пемзу, вермикулит.

В настоящее время природные глины в чистом виде редко являются кондиционным сырьем для производства керамических изделий. В связи с этим их применяют с введением добавок различного назначения.

Добавки к глинам

Отощающие добавки. Их вводят в пластичные глины для уменьшения усадки при сушке и обжиге и предотвращения деформаций и трещин в изделиях. К ним относятся: дегидратированная глина, шамот, шлаки, золы, кварцевый песок.

Порообразующие добавки. Их вводят для повышения пористости черепка и улучшения теплоизоляционных свойств керамических изделий. К ним относятся: древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль. Эти добавки являются одновременно и отощающими.

Плавни. Их вводят с целью снижения температуры обжига керамических изделий. К ним относятся: полевые пшаты, железная

руда, доломит, магнезит, тальк, песчаник, пегматит, стеклобой, перлит.

Пластифицирующие добавки. Их вводят с целью повышения пластичности сырьевых смесей при меньшем расходе воды. К ним относятся высокопластичные глины, бентониты, поверхностно-активные вещества.

Специальные добавки. Для повышения кислотостойкости керамических изделий в сырьевые смеси добавляют песчаные смеси, затворенные жидким стеклом. Для получения некоторых видов цветной керамики в сырьевую смесь добавляют оксиды металлов (железа, кобальта, хрома, титана и др.).

Глазури и ангобы

Некоторые виды керамических изделий для повышения санитарно-гигиенических свойств, водонепроницаемости, улучшения внешнего вида покрывают декоративным слоем - глазурью или ангобом.

Глазурь - стекловидное покрытие толщиной 0,1-0,2 мм, нанесенное на изделие и закрепленное обжигом. Глазури могут быть прозрачными и глухими (непрозрачными) различного цвета. Для изготовления глазури используют: кварцевый песок, каолин, полевой шпат, соли щелочных и щелочноземельных металлов. Сырьевые смеси размалывают в порошок и наносят на поверхность изделий в виде порошка или суспензии перед обжигом.

Ангобом называется нанесенный на изделие тонкий слой беложгущейся или цветной глины, образующей цветное покрытие с матовой поверхностью. По свойствам ангоб должен быть близок к основному черепку.

§ 3. Общая схема производства керамических изделий

При всем многообразии керамических изделий по свойствам, формам, назначению, виду сырья и технологии изготовления основные этапы производства керамических изделий являются общими и состоят из следующих операций: добыча сырьевых материалов, подготовка массы, формование изделий, их сушка и обжиг.

Добыча глины осуществляется на карьерах обычно открытым способом экскаваторами и транспортируется на предприятие керамических изделий рельсовым, автомобильным или другим видом транспорта. Разработке карьера предшествуют подготовительные работы: геологическая разведка с установлением характера залегания, полезной толщи и запасов глин; счистка поверхности от растений за год-два до начала разработки, удаление пород, непригодных для производства.

Подготовка глин и формование изделий

Карьерная глина в естественном состоянии обычно непригодна для получения керамических изделий. Поэтому проводится ее обработка с целью подготовки массы. Подготовку глин целесообразно вести сочетанием естественной и механической обработки. Естественная обработка подразумевает собой вылеживание предварительно добытой глины в течение 1-2 лет при периодическом увлажнении атмосферными осадками или искусственном замачивании и периодическом замораживании и оттаивании. Механическая обработка глин производится с целью дальнейшего разрушения их природной структуры, удаления или измельчения крупных включений, удаления вредных примесей, измельчения глин и добавок и перемешивания всех компонентов до получения однородной и удобоформуемой массы с использованием специализированных машин (глинорыхлителей; камневыделительных, дырчатых, дезинтеграторных, грубого и тонкого помола вальцов; бегунов, глинорастирочных машин, корзинчатых дезинтеграторов, роторных и шаровых мельниц, одно- и двухвальных глиномешалок, пропеллерных мешалок и др.).

В зависимости от вида изготовляемой продукции, вида и свойств сырья массу приготовляют пластическим, жестким, полусухим, сухим и шликерным способами. Способ приготовления массы определяет и способ формования и название в целом способа производства.

При **пластическом способе** подготовки массы и формования исходные материалы при естественной влажности или предварительно высушенные смешивают с добавками воды до получения теста с влажностью от 18 до 28%. Этот способ производства керамических строительных материалов является наиболее простым, наименее металлоемким и потому наиболее распространенным. Он применяется в случаях использования среднепластичных и умеренно-пластичных, рыхлых и влажных глин с уме-

ренным содержанием посторонних включений, хорошо размокающих и превращающихся в однородную массу. На рис. 5.1 приведена одна из технологических схем производства кирпича пластическим способом.

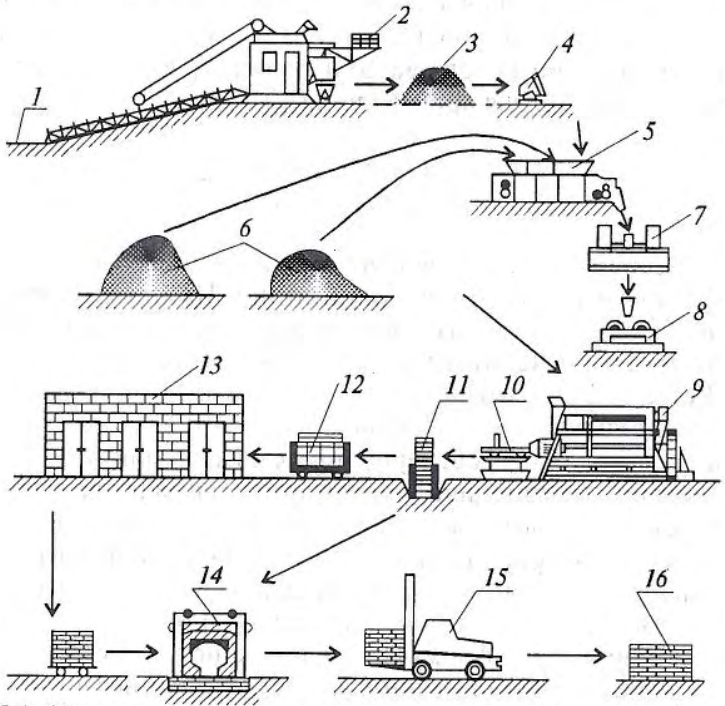


Рис. 5.1. Технологическая схема производства керамического кирпича:

1 - карьер глины; *2* - экскаватор; *3* - глинозапасник; *4* - вагонетка; *5* - ящичный подаватель; *6* - добавки; *7* - бегуны; *8* - вальцы; *9* - ленточный пресс; *10* - резак; *11* - укладчик; *12* - тележка; *13* - сушильные камеры; *14* - туннельная печь; *15* - самоходная тележка; *16* - склад

Набор и разновидности машин для подготовки массы могут отличаться от приведенных на рис. 5.1 в зависимости от свойств сырья и добавок. Однако формование при пластическом способе всегда производится на машине одного принципа действия - ленточном шнековом прессе (рис. 5.2) с вакуумированием и подогревом или без них. Вакуумирование и подогрев массы при прессовании позволяет улучшить ее формовочные свойства, увеличить прочность обоженного изделия до 2-х раз. В корпусе пресса вращается шнек-вал с винтовыми лопастями. Глиняная масса перемещается с помощью шнека к сужающейся переходной головке, уплотняется и выдавливается через мундштук в виде непрерывного бруса или ленты, или трубы под давлением 1,6-7 МПа.

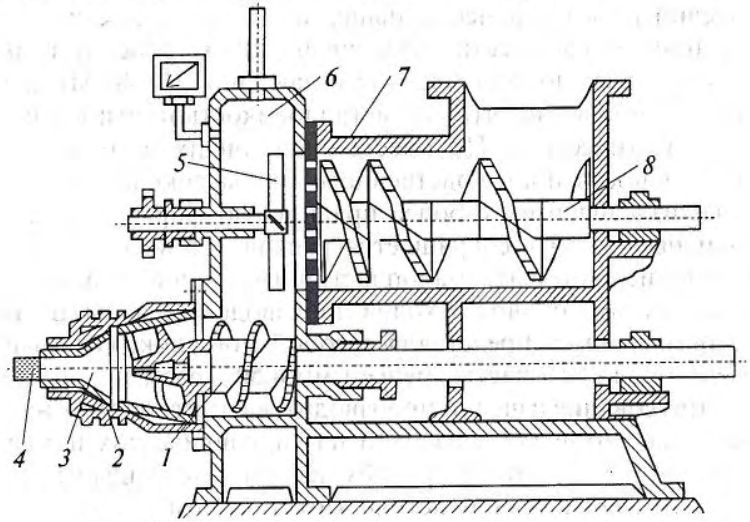


Рис. 5.2. Ленточный вакуумный пресс

1 - шнековый вал; *2* - прессовая головка; *3* - мундштук; *4* - глиняный брус; *5* - крыльчатка; *6* - вакуум-камера; *7* - решетка; *8* - глиномялка

Производительность современных ленточных прессов по производству кирпича достигает 10000 штук в час.

Жесткий способ формования является разновидностью современного развития пластического способа. Влажность формуемой массы при этом способе колеблется от 13% до 18%. Формование осуществляется на мощных вакуумных шнековых или гидравлических прессах. Вакуум-пресс итальянской фирмы "Бонджени", например, создает давление прессования до 20 МПа. В связи с тем, что "жесткое" формование осуществляется при относительно высоких 10-20 МПа давлениях, могут быть использованы менее пластичные и с естественной низкой влажностью глины. При этом способе требуются меньшие энергетические затраты на сушку, а получение изделия сырца с повышенной прочностью позволяет избежать некоторые операции в технологии производства, обязательные при пластическом способе. Формование при пластическом и жестком способах завершается разрезкой непрерывной ленты отформованной массы на отдельные изделия на резательных устройствах. Эти способы формования наиболее распро-

странены при выпуске: сплошных и пустотелых кирпичей, камней, блоков и панелей; черепицы и т.п.

Полусухой способ производства строительных керамических изделий распространен меньше, чем способ пластического формования. Керамические изделия по этому способу формуют из шихты с влажностью 8-12% при давлениях 15-40 МПа. Недостаток способа в том, что его металлоемкость почти в 3 раза выше, чем пластического. Но вместе с тем он имеет и преимущества. Длительность производственного цикла сокращается почти в 2 раза; изделия имеют более правильную форму и более точные размеры; до 30% сокращается расход топлива; в производстве можно использовать малопластичные тощие глины с большим количеством добавок отходов производства - золы, шлаков и др. Сырьевая масса представляет собой порошок, который должен иметь около 50% частиц менее 1 мм и 50% размером 1-3 мм.

Прессование изделий производится в прессформах на одно или несколько отдельных изделий на гидравлических или механических прессах. По этому способу делаются все виды изделий, которые изготовляются и пластическим способом.

Сухой способ является разновидностью современного развития полусухого производства керамических изделий. Пресс-порошок при этом способе готовится с влажностью 2-6%. При этом устраняется полностью необходимость операции сушки. Таким способом изготовляют плотные керамические изделия-плитки для полов, дорожный кирпич, материалы из фаянса и фарфора.

Шликерный способ применяется, когда изделия изготавливаются из многокомпонентной массы, состоящей из неоднородных и трудноспекающихся глин и добавок, и когда требуется подготовить массу для изготовления керамических изделий сложной формы методом литья. Отливка изделий производится из массы с содержанием воды до 40%. Этим способом изготовляются санитарно-технические изделия, облицовочные плитки.

Сушка изделий

Перед обжигом изделия должны быть высушены до содержания влаги 5-6% во избежание неравномерной усадки, искривлений и растрескивания при обжиге.

Прежде сырец сушили преимущественно в естественных условиях в сушильных сараях в течение 2-3 недель в зависимости от климатических условий.

В настоящее время сушка производится преимущественно искусственная в туннельных непрерывного действия или камерных периодического действия сушилах в течение от нескольких до 72-х часов в зависимости от свойств сырья и влажности сырца. Сушка производится при начальной температуре теплоносителя - отходящих газов от обжиговых печей или подогретого воздуха - 120-150°С.

Обжиг изделий

Обжиг - важнейший и завершающий процесс в производстве керамических изделий. Этот процесс можно разделить на три периода: прогрев сырца, собственно обжиг и регулируемое охлаждение. При нагреве сырца до 120°С удаляется физически связанная вода и керамическая масса становится непластичной. Но если добавить воду, пластические свойства массы сохраняются. В температурном интервале от 450°С до 600°С происходит отделение химически связанной воды, разрушение глинистых минералов и глина переходит в аморфное состояние. При этом и при дальнейшем повышении температуры выгорают органические примеси и добавки, а керамическая масса безвозвратно теряет свои пластические свойства. При 800°С начинается повышение прочности изделий, благодаря протеканию реакций в твердой фазе на границах поверхностей частиц компонентов.

В процессе нагрева до 1000°С возможно образование новых кристаллических силикатов, например силлиманита $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, а при нагреве до 1200°С и муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Одновременно с этим легкоплавкие соединения керамической массы и минералы плавни создают некоторое количество расплава, который обволакивает не расплавившиеся частицы, стягивает их, приводя к уплотнению и усадке массы в целом. Эта усадка называется *огневой* усадкой. В зависимости от вида глин она составляет от 2% до 8%. После остывания изделие приобретает камневидное состояние, водостойкость и прочность. Свойство глин уплотняться при обжиге и образовывать камнеподобный черепок называется *спекаемостью глин.*

В зависимости от назначения обжиг изделий ведется до различной степени спекания. Спекшимся считается черепок с водопоглощением менее 5%. Большинство строительных изделий обжигается до получения черепка с неполным спеканием в определенном температурном интервале от температуры огнеупорности до начала спекания, называемым *интервалом спекания.*

Интервал спекания для легкоплавких глин составляет 50-100°С, а огнеупорных до 400°С. Чем шире интервал спекания, тем меньше опасность деформаций и растрескивания изделий при обжиге.

Интервал температур обжига лежит в пределах: от 900°С до 1100°С для кирпича, камня, керамзита; от 1100°С до 1300°С для клинкерного кирпича, плиток для полов, гончарных изделий, фаянса; от 1300°С до 1450°С для фарфоровых изделий; от 1300°С до 1800°С для огнеупорной керамики.

§ 4. Структура и общие свойства керамических изделий

Керамические материалы представляют собой **композиционные материалы**, в которых матрица или непрерывная фаза представлена остывшим расплавом, а дисперсная фаза представлена нерасплавленными частицами глинистых, пылевидных и песчаных фракций, а также порами и пустотами, заполненными воздухом. **Материал матрицы** в свою очередь представляет собой *микрокомпозиционный материал*, состоящий из *матрицы - непрерывной стекловидной фазы застывшего расплава и дисперсной фазы - кристаллических зерен силлиманита, муллита, кремнезема различных фракций* и других веществ, кристаллизующихся при остывании (в основном алюмосиликатов). Стекловидная, аморфная фаза (переохлажденная жидкость) представлена в микроструктуре легкоплавкими компонентами, которые не успели выкристаллизоваться при заданной скорости остывания расплава.

Истинная плотность керамических материалов 2,5 - 2,7 г/см^3; плотность 2000 - 2300 кг/м^3; теплопроводность абсолютно плотного черепка 1,16 В/(м °С). Теплоемкость керамических материалов 0,75 - 0,92 кДж/(кг°С).

Предел прочности при сжатии керамических изделий меняется в пределах от 0,05 до 1000 МПа.

Водопоглощение керамических материалов в зависимости от пористости меняется в пределах от 0 до 70%.

Керамические материалы имеют марки по морозостойкости: 15; 25; 35; 50; 75 и 100.

§ 5. Стеновые изделия

К группе стеновых изделий относятся: кирпич керамический обыкновенный, эффективные керамические материалы (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легкий, пустотелые камни, блоки и плиты), а также крупноразмерные блоки и панели из кирпича и керамических камней.

Керамические кирпичи и камни

Керамические кирпичи и камни изготовляют из легкоплавких глин с добавками или без них и применяются для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений, а также для изготовления стеновых панелей и блоков.

В зависимости от размеров кирпич и камни подразделяются на виды: кирпич (рис. 5.3, а), утолщенный (рис. 5.3, б), модульный (рис. 5.3, в), камень обыкновенный (рис. 5.3, г), укрупненный (рис.5.3, д), модульный (рис. 5.3, е) и с горизонтальным расположением пустот (рис. 5.3, ж, з),

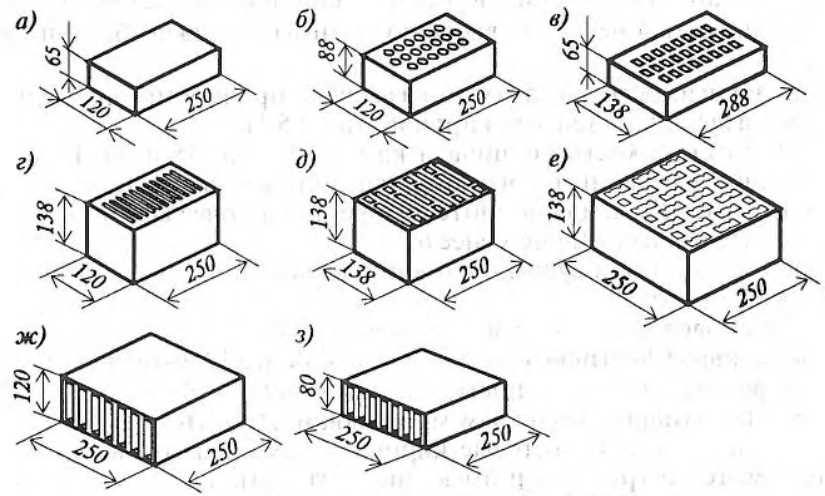


Рис. 5.3. Типы керамического кирпича и камня:
Кирпич: *а)* обыкновенный; *б)* утолщенный; *в)* модульный.
Камень: *г)* обыкновенный; *д)* укрупненный; *е)* модульный;
ж), з) с горизонтальным расположением пустот

Кирпич может быть полнотелым и пустотелым, а камни только пустотелыми. Утолщенный и модульный кирпич должен быть также только с круглыми или щелевыми пустотами, чтобы масса одного кирпича не превышала 4 кг. Поверхность граней может быть гладкой и рифленой. Кирпич и камень должен быть нормально обожжен, так как недожог (алый цвет) обладает недостаточной прочностью, малой водостойкостью и морозостойкостью, а пережженный кирпич (железняк) отличается повышенной плотностью, теплопроводностью и, как правило, имеет искаженную форму.

Допускается изготовление кирпича и камней с закругленными углами с радиусом закругления до 15 мм. Размер цилиндрических сквозных пустот по наименьшему диаметру должен быть не менее 16 мм, ширина щелевых пустот не более 12 мм. Диаметр несквозных пустот не ограничивается. Толщина наружных стенок кирпича и камней должна быть не менее 12 мм. По внешнему виду кирпич и камень должны удовлетворять определенным требованиям. Это устанавливается путем осмотра и обмера определенного количества кирпича от каждой партии (0,5%, но не менее 100 шт.) по отклонениям от установленных размеров, непрямолинейности ребер и граней, отбитости углов и ребер, наличию сквозных трещин, проходящих по постели кирпича. Общее количество изделий с отклонениями, выше допустимых, должно быть не более 5%.

В зависимости от этих показателей прочности определяют марку изделий, например, кирпича (табл. 5.1).

Морозостойкость кирпича и камней 15, 25, 35 и 50. Водопоглощение для полнотелого кирпича должно быть для марок до 150 не менее 8%, а для полнотелого кирпича более высоких марок и пустотелых изделий не менее 6%.

По плотности в сухом состоянии кирпич и камни подразделяются на 3 группы:

обыкновенные - с плотностью более 1600 кг/м^3;

условно-эффективные - с плотностью более 1400-1600 кг/м^3;

эффективные - с плотностью не более 1400-1450 кг/м^3.

К эффективным стеновым материалам относятся также пористые сплошные и пустотелые кирпич и камни, изготовляемые из диатомитов и трепелов и имеющие плотность: класс А - 700-1000 кг/м^3, класс Б - 1001-1300 кг/м^3, класс В > 1301 кг/м^3.

Применение эффективных стеновых керамических материалов позволяет уменьшить толщину наружных стен, снизить материалоемкость ограждающих конструкций до 40%, сократить транспортные расходы и нагрузки на основание.

Таблица 5.1

Марка кирпича в зависимости от пределов прочности при сжатии и изгибе

Марка кирпича	Предел прочности, МПа							
	Для всех видов кирпичей		при изгибе					
	при сжатии		для полнотелого кирпича пластического прессования		для полнотелого кирпича полусухого прессования и пустотелого кирпича		для утолщенного кирпича	
	средний для 5 образцов	min	средний для 5 образцов	min	средний для 5 образцов	min	средний для 5 образцов	min
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
250	29,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
150	15,0	12,5	2,5	1,4	1,9	0,9	1,6	0,8
100	10,0	7,5	2,2	1,2	1,6	0,8	1,4	0,7
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7	1,2	0,6

В различных странах выпускаются отличающиеся между собой стеновые материалы как по номенклатуре, так и по типоразмерам и маркам. Так, марка кирпича, выпускаемого за рубежом, составляет 125-600, причем основная масса кирпича производится с маркой 400. В Германии, например, стандарт "Стеновой кирпич" предусматривает производство: обыкновенных полнотелых и пустотелых кирпичей и камней 14-ти типов с размерами 240x115x52 – 490x300x238 марок от М40 до М280 и плотностью 1200-2200 кг/м^3; легких пустотелых кирпичей и камней 13-ти типо-

размеров марок от М20 до М280 и плотностью 600-1000 кг/м^3; высокопрочных кирпичей и камней марок М360, М480 и М600: для внутренних стен и перегородок - пустотелых кирпичей, камней и плит с размерами 330х175х40 - 945х320х115.

В Санкт-Петербурге фирма "Кнауф" (Германия) выпускает: кирпич строительный, размером 250х120х65 мм, плотностью 1200 кг/м^3; поризованный камень 2NF, размером 250х120х142 мм, плотностью 850 кг/м^3; камень 2NF крупноформатный поризованный, размером 510х260х129 мм, плотностью 850 кг/м^3.

В зарубежной практике известно производство кирпича пазогребневой конструкции для безрастворной кладки, крупноразмерных керамических стеновых элементов, звукоизоляционного кирпича и других стеновых изделий.

Панели и блоки стеновые из кирпича и керамических камней

Панели и блоки стеновые из кирпича и керамических камней изготовляют для повышения индустриальности строительства. Их изготовляют обычно в горизонтальном положении в металлической форме с матрицей, имеющей ячейки для фиксации положения каждого кирпича и камня и обеспечивающей расшивку швов с лицевой стороны изделия или с матрицей со специальным рисунком отделочного слоя. Они изготовляются трех-, двух-, и однослойные длиной на один или два планировочных шага и высотой на 1 и 2 этажа. толщина панелей для внутренних стен и перегородок 80, 140, 180 и 280 мм.

Однослойные панели изготавливаются из керамических камней. Двухслойная панель состоит из одного слоя в ½ кирпича и слоя утеплителя толщиной до 100 мм. Трехслойная панель состоит из двух кирпичных наружных слоев, каждый толщиной 65 мм, и слоя утеплителя толщиной 100 мм между ними. Для обеспечения прочности панели при транспортировании и монтаже их армируют стальными каркасами из проволоки по периметру панели и проемов.

§6. Облицовочные изделия

Керамические облицовочные изделия применяются для наружной и внутренней облицовки конструкции зданий и сооружений не только с целью декоративно-художественной отделки, но и повышения их долговечности.

Керамические изделия для внешней облицовки зданий

Керамические изделия для внешней облицовки зданий подразделяют на кирпич и камни лицевые, крупноразмерные плиты, плитки керамические фасадные и ковры из них.

Кирпич и камни лицевые являются не только облицовочными изделиями. Они укладываются вместе с кладкой стены и одновременно служат конструктивным несущим элементом вместе с обычным кирпичом. Лицевые кирпичи и камни выпускаются тех же размеров и форм, что и обычные, и отличаются от последних более высокой их плотностью и однородностью цвета. Производятся по прочности марок 75, 100, 125 и 150, а по морозостойкости не менее 25. Регулируя состав сырья и режим обжига получают от белого, кремового до светло-красного и коричневого цветов. При отсутствии высококачественного сырья изготавливаются с лицевой поверхностью офактуренной: ангобированием, двухслойным формованием, глазурованием и торкретированием цветной минеральной крошкой. Двухслойные изделия изготовляют формованием из двух масс: основной части - местных красножгущихся глин и лицевого слоя толщиной 3-5 мм из светложгущихся окрашенных или неокрашенных глин. Применяется и рельефное офактуривание, которое производится путем обработки еще влажных сырцовых изделий специальными металлическими ершами, гребенками, рифлеными валиками. Для зданий, возводимых из кирпича, лицевые кирпичи являются наиболее экономичным видом облицовки зданий.

Крупноразмерные облицовочные керамические плиты типа "плинк" универсального назначения выпускаются глазурованные и неглазурованные с гладкой, шероховатой или рифленой, одно- или многоцветной поверхностью. Плиты имеют водопоглощение менее 1% и морозостойкость 50 циклов и более. Изготовляются квадратной или прямоугольной формы длиной 490, 990, 1190 мм, шириной 490 и 990 мм и толщиной 9-10 мм. Применяются для облицовки фасадов и цоколей зданий, подземных переходов.

Плитки керамические фасадные и ковры из них выпускаются методом пластического и полусухого прессования.

Применяются для облицовки наружных стен кирпичных зданий, наружных поверхностей железобетонных стеновых панелей, цоколей, подземных переходов и оформления других элементов зданий. Плитки выпускаются глазурованные и неглазурованные,

рядовые и специального назначения с гладкой и рельефной поверхностью 26-ти типов с размерами от 292x192x9 мм до 21x21x4 мм. Стандартом допускается выпуск плиток и других типоразмеров. Водопоглощение рядовых плиток 7-10%, а специальных - не более 5%. Морозостойкость должна быть для рядовых плиток не менее 35 циклов, а специальных не менее 50 циклов. Плитки могут поставляться в коврах. Заводы выпускают ковры с наклейкой плиткой их лицевой стороной на крафт-бумагу.

Керамические плитки для внутренней облицовки

Плитки керамические для внутренней облицовки подразделяются на две группы - для облицовки стен и для покрытия полов. Эти изделия не подвергаются в условиях эксплуатации действию отрицательных температур, поэтому требования морозостойкости к ним не предъявляются.

Плитки для облицовки стен применяются двух видов - *майоликовые и фаянсовые*. Фаянсовые плитки изготовляются из сырьевой смеси каолина, полевого шпата и кварцевого песка, а майоликовые из красножгущихся глин с последующим покрытием глазурью. Плитки классифицируют: по характеру поверхности - на плоские рельефно-орнаментированные, фактурные; по виду глазурного покрытия - прозрачные и глухие, блестящие и матовые одноцветные и декорированные многоцветными рисунками. По форме, назначению и характеру кромок плитки производятся (рис. 5.4) следующих видов: квадратные, прямоугольные, фасонные угловые, фасонные карнизные прямые, для отделки внешних и внутренних углов; фасонные плинтусные - прямые, для отделки внешних и внутренних углов.

Размеры плиток для внутренней отделки (150÷200)x-x(50÷200)x(5÷8) мм. Водопоглощение плиток для внутренней отделки до 16%, предел прочности при изгибе - 12 МПа. Плитки должны выдерживать перепады температур от 125±5°С до 15÷20°С без появления дефектов.

Плитки керамические для полов (метлахские)* производятся из тугоплавких и огнеупорных глин с добавками и без них. Их применяют для настилки полов в зданиях, к чистоте которых предъявляются высокие требования, где возможны воздействия жиров

* Название произошло от города Mettlach в Германии, где еще в средние века было налажено их производство.

и других химических реагентов, интенсивное движение, а также в случаях, когда материал для полов служит и декоративным элементом в архитектурном оформлении помещения.

При производстве плитки обжигаются до спекания, вследствие чего имеют водопоглощение не более 4% и высокую износостойкость. Плитки могут быть (рис. 5.5) квадратными, прямоугольными, четырех-, пяти-, шести- и восьмигранными. Размеры плиток 16-ти типов (200÷4)x(173÷49)x(10÷13) мм. По виду лицевой поверхности плитки выпускаются гладкими, с рельефом и тиснением: одноцветные и многоцветные, матовые и глазурованные, с рисунками и без них. Выпускаются и крупноразмерные универсальные керамические плитки размерами (1200÷1500)x500 мм, которые применяются для облицовки и стен и полов.

Для устройства полов применяют и мозаичные плитки квадратной или прямоугольной формы размером 23 и 48 мм при толщине 6-8 мм, собранные в "ковры" на крафт-бумаге размером 398x598 мм.

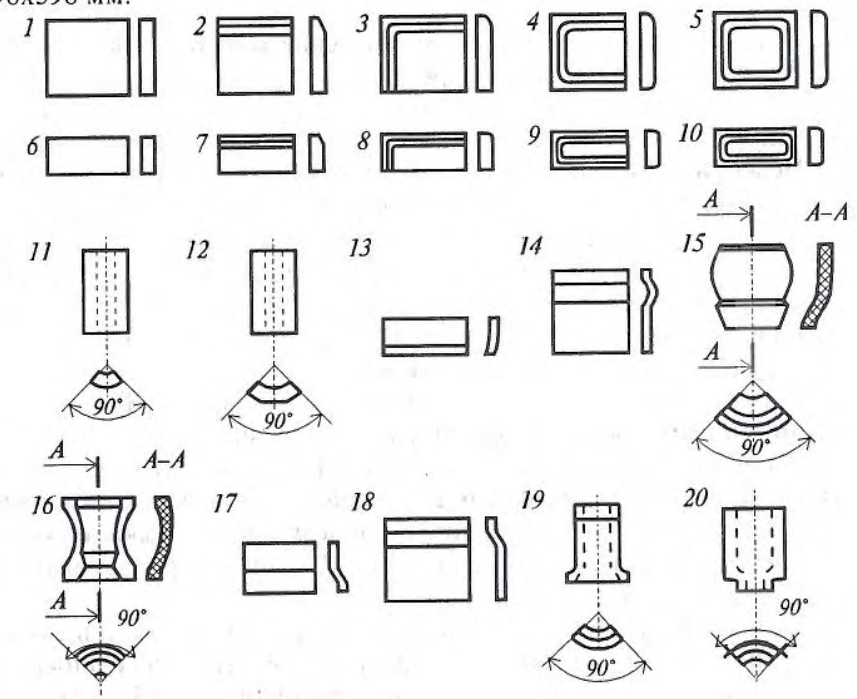


Рис. 5.4. Типы керамических плиток для внутренней отделки:

1-5 - квадратные; *6-10* - прямоугольные; *11, 12* - фасонные угловые; *13-16* - фасонные карнизные; *17-20* -фасонные плинтусные

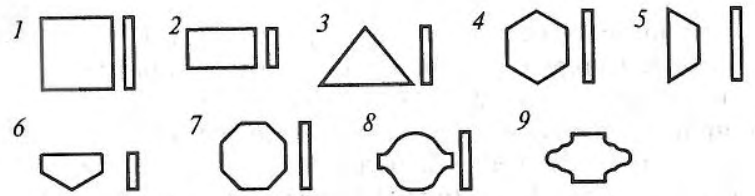


Рис.5.5. Типы керамических плиток для полов:
1 - квадратная; *2* - прямоугольная; *3* - треугольная; *4* - шестигранная; *5* - четырехгранная; *6*- пятигранная; *7*- шестигранная; *8, 9*- фигурные

Мировым лидером в производстве керамической плитки является Италия, которая производит их около 30% мирового производства.

§ 7. Керамические изделия для кровли и перекрытий

Наибольшее применение керамические изделия для кровли и черепицы нашли в западноевропейских странах, в некоторых из них кровля до 100% жилых зданий решается за счет применения черепицы.

Черепица, имея долговечность до 300 лет, по этому показателю значительно превышает любые другие кровельные материалы, а по текстурным качествам и по стоимости не уступает им. К недостаткам черепицы относятся необходимость большого уклона (не менее 30%) кровли и значительный вес кровли, что требует особой прочности конструкции стропил, и высокая трудоемкость кровельных работ. Однако высокая долговечность, огнестойкость, устойчивость к атмосферным воздействиям и распространенность сырья делают керамическую черепицу одним из самых эффективных кровельных материалов. Известна черепица разных типов (рис. 5.6). По назначению черепицу подразделяют на: рядовую, коньковую, разжелобочную, концевую для замыкания рядов и черепицу специального назначения. Черепица производится из легкоплавких глин.

Черепица при монтаже укладывается друг на друга и в связи с этим полезная площадь составляет соответственно у плоской - 50%, у штампованной и ленточной пазовой - 75-85%. При испытании черепица должна выдерживать не менее 70 кг при расстоянии между опорами у плоской - 180 мм, у ленточной пазовой и штампованной - 300 мм. Вес штампованной и ленточной

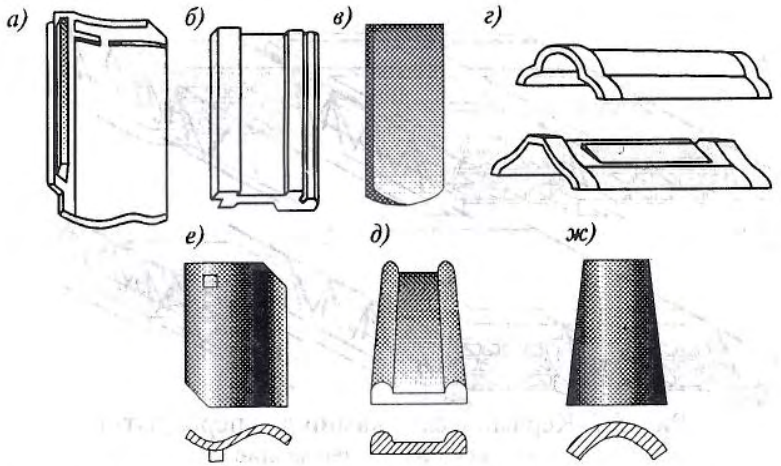


Рис. 5.6. Разновидности керамической черепицы:

а) пазовая штампованная; *б)* пазовая ленточная; *в)* плоская ленточная; *г)* коньковая; *д)* голландская; *е)* желобчатая; *ж)* татарская

пазовой, уложенной в кровлю и насыщенной водой, должен быть не более 50 кг/м², а плоской - не более 65 кг/м². Морозостойкость черепицы должна быть не менее 25 циклов.

Камни и плиты для перекрытий

Перекрытия из пустотелых камней и плит огнестойки, долговечны, обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Для их устройства требуется небольшой расход цемента и стали и не требуется дополнительная засыпка.

Камни керамические для перекрытий (рис. 5.7) по назначению подразделяются для: сборных элементов настилов, часторебристых сборных или монолитных перекрытий, накатов (заполнение между балками). Пустотность керамических камней для перекрытий 50-75%.

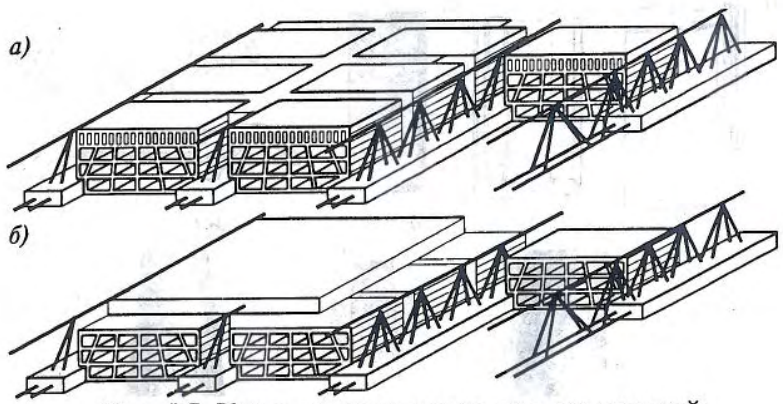


Рис. 5.7. Керамические камни для перекрытий:
а) несущие; *б)* ненесущие

§ 8. Санитарно-технические керамические изделия и трубы

Изделия санитарные керамические - умывальники, унитазы, сливные бачки, биде, писсуары, раковины и другие аналогичные изделия производятся из фарфоровых, полуфарфоровых, фаянсовых и шамотированных масс, которые получают из одинаковых материалов (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Типовые составы масс для производства санитарно-технических изделий (% по массе)

Материалы	Фарфор	Полуфарфор	Фаянс
Каолин	28-30	28-32	32-34
Пластическая белообжгущаяся глина	20-22	20-22	22-24
Полевой шпат	20-24	10-12	2-4
Песок кварцевый	20-22	25-28	26-30
Бой обожженный	6-10	8-12	26-30
Жидкое стекло	0,15-0,30	0,15-0,30	0,15-0,30
Сода	0,07-0,15	0,07-0,15	0,07-0,15

Изделия покрываются блестящей однотонной или цветной глазурью и обладают разными свойствами (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Физико-механические свойства санитарно-технической керамики

Свойства	Фарфор	Полуфарфор	Фаянс
Водопоглощение,%	0,2-0,5	3-5	10-12
Плотность, кг/м³	2250-2300	2000-2200	1900-1960
Предел прочности при сжатии, МПа	400-500	150-200	100
Предел прочности при изгибе, МПа	70-80	38-43	15-30

Трубы керамические канализационные применяют для строительства безнапорных сетей канализации, транспортирующих промышленные, бытовые, дождевые, агрессивные и не агрессивные воды. Трубы изготовляются из пластичных тугоплавких и огнеупорных глин, цилиндрической формы длиной 1000-1500 мм с внутренним диаметром 150-600 мм. На одном конце имеется раструб для соединения отдельных звеньев трубопровода. Водопоглощение труб должно быть не более 8%, а кислотостойкость не ниже 93%. Трубы должны быть водонепроницаемыми и выдерживать внутреннее давление не менее 0,15 МПа.

Трубы керамические дренажные изготовляются из глины с добавками и без них и применяются в мелиоративном строительстве для устройства закрытого дренажа с защитой стыков фильтрующими материалами.

Трубы производятся с цилиндрической, шести- и восьмигранной поверхностью с внутренним диаметром 50-250 мм и длиной 333 мм. Морозостойкость их не менее 15 циклов, а разрушающая внешняя нагрузка от 3,5 до 5,0 кН в зависимости от диаметра. Внешняя поверхность труб покрывается глазурью. Вода в трубы поступает через .круглые или щелевидные отверстия в стыках, а также через стыки труб.

§ 9. Специальные керамические изделия

К специальным керамическим изделиям относятся кирпич для дымовых труб, клинкерный кирпич и кислотоупорные изделия.

Кирпич для дымовых труб применяется для кладки дымовых труб и обмуровки промышленных труб в случае, если температура нагрева их дымовыми газами не превышает 700°С. Кирпич изготовляется марок от 125 до 300. Размеры кирпича: длина 120 и

250 мм, ширина 120 или 250 мм, толщина 65 или 88 мм. Кирпич бывает прямоугольный или клинообразный. Меньшую длину клинообразного кирпича принимают 70, 100, 200 и 225 мм. Водопоглощение кирпича должно быть не менее 6%, а морозостойкость 25, 35 и 50.

Клинкерный кирпич получают обжигом глин до полного спекания, но без остекловывания поверхности, поэтому он отличается от обычного высокими прочностью и морозостойкостью. Размер кирпича 220x110x65 мм. В соответствии с пределом прочности при сжатии его разделяют на 3 марки - 1000, 700 и 400, морозостойкость которых соответственно - 100-50 циклов, а водопоглощение - соответственно не более 2-6%. Клинкерный кирпич называют и дорожным и применяется он для покрытия дорог и мостовых, обмуровки канализационных коллекторов и облицовки набережных.

Применяется он и в химической промышленности как кислотостойкий материал.

Кислотоупорный кирпич применяется для защиты аппаратов и строительных конструкций, работающих в условиях кислых агрессивных сред, и при футеровке дымовых труб, которые служат для отвода дымовых газов, содержащих агрессивные среды. Кирпич изготовляется высшей и первой категории качества трех классов А, Б и В и четырех форм: прямой, клиновой (торцовый и ребровый), радиальный (поперечный и продольный) и фасонный (слезник). Размеры кирпича 230x113x65 и 230x113x55 мм. Свойства кирпича имеют следующие значения: кислотостойкость - (98,5-96)%; прочность при сжатии (60-35) МПа; термическая стойкость (5-25) теплосмен.

Кислотоупорные плитки применяются для футеровки оборудования и защиты строительных конструкций и сооружений, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред. Плитки производятся высшего и первого сортов 6-ти марок: кислотоупорные фарфоровые - КФ, термокислотоупорные дунитовые - ТКД, термокислотоупорные для гидролизной промышленности - ТКГ, кислотоупорные для строительных конструкций - КС, кислотоупорные шамотные - КШ и термокислотоупорные шамотные - ТКШ.

По форме плитки бывают: квадратные плоские, квадратные радиальные, прямоугольные, клиновые и спаренные. С одной стороны плитки имеют ребристую поверхность, обеспечивающую лучшее сцепление с футерируемой конструкцией.

Размеры плиток меняются в пределах: длина и ширина 50-200 мм, толщина 15-50 мм. Значения свойств плиток в зависимости от

сорта и марок колеблются в пределах: водопоглощение - (0,4-8)%; кислотостойкость - (97-99)%; предел прочности при сжатии - (10-150) МПа, а при изгибе - (10-40) МПа; термическая стойкость 2-10 теплосмен; морозостойкость-15-20 циклов.

§ 10. Использование отходов в керамическом производстве

При производстве обжиговых изделий имеются отходы в виде керамического боя, очажных остатков в печах. Керамический бой после дробления и помола (шамот) можно использовать, как отощающие добавки в керамическом производстве и как заполнители для растворов и бетонов. Очажные остатки печей, состоящие из топливной золы и керамического боя, могут служить гидравлической добавкой при получении известковых местных гидравлических вяжущих.

С другой стороны, керамическое производство имеет возможности утилизации экологически вредных отходов многих отраслей промышленности, которые в качестве добавок могут улучшать технологические свойства глин, а при обжиге последних терять вредность к окружающей среде.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключаются положительные стороны и недостатки полусухого и пластического способа производства керамических изделий?
2. Какие температурные воздействия могут выдержать керамические изделия?
3. Из каких глин изготавливают фарфор, полуфарфор и фаянс и как отличаются их свойства?
4. Почему стеновые изделия изготавливаются с большим количеством пустот и пор?
5. Назовите основные параметры и свойства обыкновенного кирпича.

Дополнительная литература

1. *Будников П.П.* и др. Технология керамических изделий. - М.-Л., 1946.
2. *Горшков В.С.* и др. Физическая химия силикатов. - М., 1988.

3. *Кешляк Л.Л., Калиновский В.В.* Производство изделий строительной керамики. - М.: Высшая школа, 1985.

4. *Неназашвили И.Х.* Строительные материалы, изделия и конструкции: Справочник. - М.: Высшая школа, 1990.

Глава VI. СТЕКЛО И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

§ 1. Общие сведения

Стекло и другие плавленые материалы и изделия получают из минеральных силикатных расплавов, сырьем для которых служат распространенные горные породы и некоторые побочные продукты промышленности. Минеральные расплавы в зависимости от исходного сырья разделяются на следующие группы: стеклянные, каменные, шлаковые, ситаллы и шлакоситаллы. Материалы из расплавов обладают высокими показателями долговечности, химической стойкости к воздействию агрессивных сред, отличными декоративными свойствами, а некоторые из них и прозрачностью.

Из минеральных расплавов, получают изделия самого различного назначения: листовые светопрозрачные, конструкционные, отделочные, облицовочные, трубы специальные, тепло- и звукоизоляционные.

Изделия из стекла начали изготовлять еще 3500-4000 лет до н. э. в Египте и Месопотамии. Первый стекольный завод в России был создан в 1638 году близ г. Воскресенска. Основоположником научных основ стекловарения в России является М.В. Ломоносов, который организовал в 1752 году производство разноцветных стекол. До конца XIX века производство изделий из минеральных расплавов для применения в строительстве было связано главным образом с изготовлением листовых светопрозрачных изделий. Бурное развитие техники в прошлом столетии привело к развитию производства из минеральных расплавов широкой номенклатуры материалов и изделий, различных по свойствам, виду и назначению. В последние годы быстро развивалось производство специальных видов строительного и технического стекла, а также теплоизоляционных материалов. Получило распространение производство стеклоблоков, профильного стекла, стеклопакетов. Использование стеклоблоков позволяет снизить теплопотери зданий более чем в 2 раза по сравнению с одинарным остеклением.

§ 2. Стекло и его свойства

Стеклом называют все аморфные тела, получаемые путем переохлаждения расплавов, независимо от их химического состава и температурной области затвердевания, обладающие в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым. Признаками стеклообразного состояния вещества является отсутствие четко выраженной точки плавления, гомогенность и изотропность. В стеклообразном состоянии могут быть получены многие вещества.

Стекло способно образовывать называемые стеклообразующими оксиды SiO_2, P_2O_5 и B_2O_3 без каких либо добавок. Однако в большинстве случаев сырьевой массой для производства стекол является многокомпонентная шихта, содержащая помимо стеклообразующего оксида различные добавки.

В строительстве используют почти исключительно силикатное стекло, основным компонентом которого является диоксид кремния SiO_2.

Стекло не является веществом с определенным химическим составом, который может быть выражен химической формулой, поэтому состав стекла условно выражают суммой оксидов. Состав строительных стекол в зависимости от вида и назначения содержит оксиды (в % по массе): SiO_2 - 64-73,4; Na_2O_3 - 10-15,5; K_2O - 0-5; CaO - 2,5-26,5; MgO - 0-4,5; Al_2O_3 - 0-7,2; Fe_2O_3 - 0-0,4; SO_3 - 0-0,5; B_2O_3 - 0-5.

Каждый из оксидов играет свою роль в процессе варки формирования свойств стекла. Оксид натрия ускоряет процесс варки, понижая температуру плавления, но уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид калия придает блеск и улучшает светопропускание. Оксид кальция повышает химическую стойкость стекла. Оксид алюминия повышает прочность, термическую и химическую стойкость стекла. Оксид бора повышает скорость стекловарения. Для получения оптического стекла и хрусталя в шихту вводят оксид свинца, повышающий показатель светопреломления.

Сырье для производства стекла

Сырьевые материалы для производства стекла разделяются на основные и вспомогательные.

К **основным** относятся минеральное сырье и некоторые продукты промышленности: кварцевый песок, сода, доломит, известняк, поташ, сульфат натрия. Кроме того, в последнее время стали широко использоваться отходы различных отраслей промышленности - доменные шлаки, кварцесодержащие материалы, тетраборит кальция, стеклобой и др.

Минеральное сырье, как правило, имеет большое количество примесей и непостоянный состав. Примеси условно разделяются на две группы:

ухудшающие качества стекломассы (оксиды железа, хрома, титана, марганца, ванадия);

соответствующие основным компонентам состава стекла (оксиды алюминия, кальция, магния, калия, натрия).

Примеси первой группы придают стеклу нежелательную окраску, а также могут привести к образованию пороков в стекле в виде включений. Примеси второй группы обычно учитываются при расчете рецепта шихты.

Вспомогательные сырьевые материалы (осветлители, глушители, красители и др.) вводят в шихту для ускорения варки стекла и придания ему требуемых свойств.

Осветлители (сульфаты натрия и алюминия, калиевая селитра, мышьяковистый ангидрид) способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков.

Глушители (криолит, плавиковый шпат, двойной суперфосфат) делают стекло непрозрачным.

Красители придают стеклу заданный цвет - соединения: кобальта - синий, хрома - зеленый, марганца - фиолетовый, железа - коричневый и сине-зеленые тона и т.д.

Основы производства стекла

Производство строительного стекла состоит из следующих основных операций: обработка сырьевых материалов; приготовление шихты, варка стекла, формование изделий и их отжиг.

Обработка включает дробление и помол материалов, поступающих на завод в виде кусков (доломит, известняк, уголь), сушку влажных материалов (песок, доломит, известняк), просеивание всех компонентов через сита заданного размера.

Приготовление шихты включает операции усреднения, дозирования и смешения. Шихта считается качественной, если отклонение от заданного состава ее не превышает ±1%.

Стекловарение производится в специальных стеклоплавильных печах непрерывного (ванные печи) или периодического (горшковые печи) действия. При нагревании шихты до 1100-1150°С происходит образование силикатов сначала в твердом виде, а затем в расплаве. При дальнейшем повышении температуры в этом расплаве полностью растворяются наиболее тугоплавкие компоненты SiO_2 и Al_2O_3 - образуется стекломасса. Эта масса неоднородна по составу и настолько насыщена газовыми пузырьками, что ее называют варочной пеной. Для осветления и гомогенизации температуру стекломассы повышают до 1500-1600°С. При этом вязкость расплава снижается, облегчается удаление газовых включений и получение однородного расплава. Стекловарение завершается охлаждением (студкой) стекломассы до температуры, при которой она приобретает вязкость, требуемую для выработки стеклоизделий.

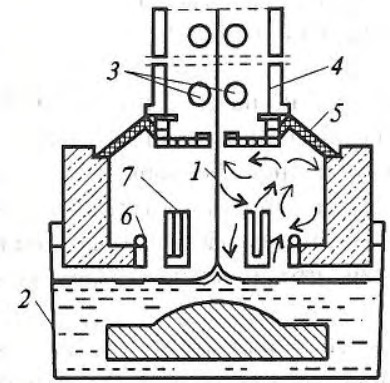


Рис. 6.1. Схема работы машины вертикального вытягивания стекла

1 - лента стекла; *2* - стеклянный расплав; *3* - валики; *4* - шахта машины; *5* - камера; *6* - горелка для поддержания высокой температуры в камере; *7* - холодильники

Формование изделий производится различными методами: вытягиванием, литьем, прокатом, прессованием и выдуванием. Формование листового стекла производится путем вертикального или горизонтального вытягивания ленты из расплава (рис. 6.1), прокатом или способом плавающей ленты (флоат-способ). Метод вытягивания применяют для получения стекла толщиной 2-6 мм. Лента вытягивается из стекломассы вращающимися валками машины через лодочку (огнеупорный брус с продольной прорезью) или свободной поверхности стекломассы (безлодочный способ).

Флоат-способ является наиболее совершенным и высокопроизводительным из всех способов, известных в настоящее время. Он позволяет получать стекло с высоким

качеством поверхности. Особенностью способа является то, что процесс формования ленты стекла протекает на поверхности расплавленного олова в результате растекания стекломассы. Поверхности листового стекла получаются ровными и гладкими и не требуют дальнейшей полировки.

Отжиг - обязательная операция при изготовлении изделий. При быстром охлаждении для закрепления формы изделий в них возникают большие внутренние напряжения, которые могут привести даже к самопроизвольному разрушению стеклоизделий.

Закалка - эта операция применяется при получении стекла с повышенной в 4-6 раз при сжатии и 5-8 раз при изгибе прочностью по сравнению с обычным стеклом. Закалка проводится доведением стекла до пластического состояния и затем резким охлаждением поверхности.

Заключительная обработка изделий включает в себя операции шлифования, полирования, декоративной обработки.

Структура и свойства стекла и стеклоизделий

В процессе производства стекла и особенно на стадии его охлаждения возникает такая структура, которая может быть охарактеризована как промежуточная между полной беспорядочностью частиц жидкого расплава и полной упорядоченностью частиц вещества в кристаллическом состоянии. В стекле наблюдается лишь ближний порядок расположения частиц, что и обуславливает изотропность его свойств.

Плотность обычного строительного силикатного стекла - 2,5 г/см^3. В зависимости от содержания различных добавок стекла специального назначения имеют плотность от 2,2 до 6,0 г/см^3.

Плотность теплоизоляционных стеклоизделий меняется в пределах 15-600 кг/м^3.

Прочность и деформативность стекла. Расчетный теоретический предел прочности при растяжении стекла составляет 12000 МПа, технический - 30-90 МПа, что объясняется наличием в стекле микронеоднородностей, микротрещин, внутренних напряжений, инородных включений и др. Предел прочности при сжатии стекла может составлять 600-1000 МПа и более. Предел прочности стеклянных волокон диаметром 4-10 мкм достигает 1000-4000 МПа. Модуль упругости стекал различного состава колеблется в пределах (4.5-9,8)·10^4 МПа. У стекла отсутствуют пластические деформации.

Хрупкость является главным недостатком стекла, которое плохо сопротивляется удару. Прочность обычного стекла при ударном изгибе составляет всего 0,2 МПа.

Оптические свойства стекол являются их важными свойствами и характеризуются показателями светопропускания (прозрачности), светопреломлением, отражением и рассеиванием. Обычные силикатные стекла пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Коэффициент направленного пропускания света стеклами достигает 0,89.

Теплопроводность стекол меняется от состава в пределах 0,5-1,0 Вт/(м·°С). Теплопроводность теплоизоляционных стеклоизделий составляет 0,032-0,14 Вт/(м·°С). Из-за малого значения коэффициента температурного расширения (9·10^{-6} - 15·10^{-6}) обычное стекло имеет относительно малую термостойкость.

Теплоемкость стекол при комнатной температуре составляет 0,63-1,05 кДж/(кг°С).

Звукоизолирующая способность стекла относительно высока. По этому показателю стекло толщиной 1 см соответствует кирпичной стене в полкирпича - 12 см.

Химическая стойкость стекла зависит от его состава. Силикатное стекло обладает высокой химической стойкостью к большинству агрессивных сред за исключением плавиковой и фосфорной кислот.

§ 3. Стеклянные материалы

Листовые светопрозрачные и светорассеивающие стекла

Листовое стекло - основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин и внутренней отделки зданий.

Оконное стекло производится трех марок: полированное, неполированное улучшенное, неполированное. Оконное стекло производится толщиной от 2,0 до 6,0 мм максимальных размеров в зависимости от толщины от 1000x1600 мм, а минимальных 400x500 мм. Светопропускание оконных стекол 84-89%.

Витринное стекло производится двух марок: М7 - полированное и М8 - неполированное, толщиной 6,5-12 мм и максимальных размеров 3000х6000 мм. Применяется для остекления витрин, витражей и окон общественных зданий. Светопропускание витринных стекол 75-83%.

Стекло листовое узорчатое имеет на одной или обеих сторонах четкий рельефный узор и изготовляется способом проката. Узорчатое стекло бывает бесцветным и цветным, окрашенным в массе или нанесением на поверхность его пленок оксидов различных металлов. Применяется для декоративного остекления оконных и дверных проемов, внутренних перегородок, крытых веранд и т.д. Для этих же целей применяется листовое стекло "мороз", имеющее на одной стороне узор, напоминающий заиндевевшее стекло.

Армированное листовое бесцветное и цветное стекло для устройства световых проемов, фонарей верхнего света, ограждений в зданиях и сооружениях различного назначения. Армированное стекло может иметь обе поверхности или одну поверхность гладкими, рифлеными или узорчатыми. Для армирования применяется сварная или крученная сетка из стальной проволоки со светлой поверхностью или с защитным алюминиевым покрытием. Диаметр проволоки сетки 0,45-0,60 мм. Сетка имеет квадратные или шестиугольные ячейки размерами 12,5 и 25 мм. Армированное стекло отличается повышенной прочностью и огнестойкостью. Светопропускание бесцветного армированного стекла 65-75%.

Увиолевое стекло пропускает 25-75% ультрафиолетовых лучей и применяется для остекления оранжерей и заполнения оконных проемов в детских и лечебных учреждениях. Такое стекло получают из шихты с минимальными примесями оксидов железа, титана, хрома.

Закаленное стекло является безопасным, так как при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми нережущими краями. В строительстве применяют для устройства дверей, перегородок, потолков.

Многослойное стекло (триплекс), армированное или неармированное, состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой, чаще всего из поливинилбутирольной пленки. При ударе оно не дает осколков и является безопасным.

Теплопоглощающее стекло предназначено для защиты интерьеров зданий от воздействия прямого солнечного излучения и уменьшения солнечной радиации в помещениях. Стекла голубого, серого и

бронзового оттенков получают введением в состав стекломассы оксидов кобальта, железа или селена. Задерживая большое количество инфракрасных лучей, стекло нагревается и подвергается большим температурным деформациям. Поэтому при остеклении следует предусматривать достаточный зазор между рамой и стеклом.

Применяется с целью уменьшения нагрева солнцем помещений жилых, культурных, общественных и промышленных зданий.

Теплоотражающее стекло применяется для нагрева помещений от солнечных и тепловых лучей. Изготавливается нанесением на поверхность тонких (0,3-1 мкм) пленок металлов и их оксидов. Светопропускание стекол 30-70%, а пропускание тепла 40-60%. В связи с тем, что в таких стеклах большая часть инфракрасных лучей не поглощается, а отражается, само стекло почти не нагревается. Вследствие уменьшения излучения из помещения они повышают теплозащиту зимой. Стекла имеют различную окраску: золотистую, голубую, оранжевую и др.

Электропроводящее стекло применяется в строительстве для стеклопакетов, используемых как источники тепла. Электропроводящие прозрачные покрытия наносятся на стекло с целью обогрева стекла и предотвращения запотевания. Покрытие получают напылением на поверхность стекла тонкой (0,5 мкм) пленки солей металлического серебра.

Стекло устойчивое к радиоактивным излучениям применяется при строительстве АЭС и предприятий по изготовлению изотопов. Для поглощения радиоактивных лучей используются стекла с высоким содержанием свинца и бора. Например, тяжелое свинцовое стекло плотностью 6200 кг/м^3, содержащее 80% оксида свинца, по своей защитной способности в этом отношении эквивалентно стали.

Светопрозрачные изделия и конструкции

Кроме листового светопроницаемого стекла в строительстве применяются светопрозрачные изделия и конструкции: стеклоблоки, стеклопрофилит, стеклопакеты, стеклобетонные конструкции и стеклянные трубы.

Блоки стеклянные пустотелые применяются для устройства наружных и внутренних ограждений, которые помимо хорошей светопропускающей способности имеют хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства. Стеклоблоки представляют герметически закрытые

полые стеклянные коробки с гладкими наружными и ребристыми внутренними поверхностями (рис. 6.2). Ребра и призмы на внутренней поверхности препятствуют прямой видимости через блок.

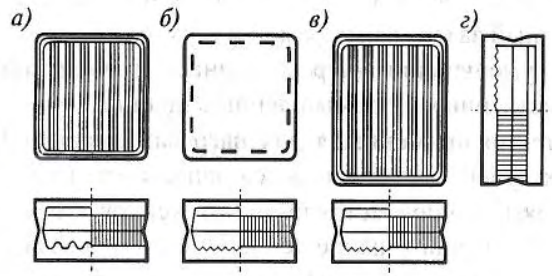


Рис. 6.2. Виды стеклянных блоков:
а) БК 244/98; *б)* БКЦ 194/98;
в), г) БПЦ 294/194/98

Номенклатура пустотелых стеклянных блоков, выпускаемых стекольными заводами страны, включает изделия квадратные и прямоугольные, неокрашенные и цветные.

Светопропускание стеклоблоков в зависимости от их вида меняется в пределах 30-55% Стеклоблоки имеют: термостойкость - 40°С, предел прочности при сжатии 1,5 МПа и сопротивление удару 0,8-0,9 Дж.

Профильное стекло (стеклопрофилит) представляет собой погонажные длинномерные светопрозрачные изделия, применяемые для устройства светопрозрачных ограждений и самонесущих стен, внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в зданиях различного типа. Профильное стекло изготовляется открытого (швеллерное, ребристое и т.д.) и замкнутого (коробчатое, овальное, треугольное и т.д.) сечений (рис. 6.3). неармированное и армированное, бесцветное и цветное, а также с аэрозольным оксидно-металлическим покрытием. Светопропускание стеклопрофилита - 73-82%, теплопроводность - 0,76 Вт/(м°С), термостойкость - 70°С.

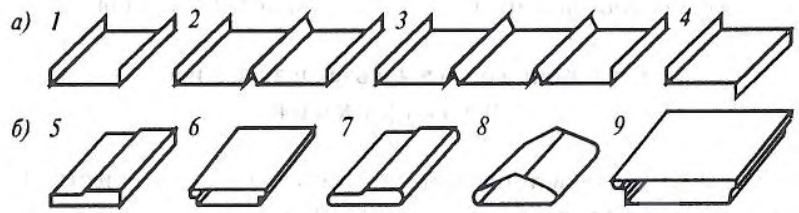


Рис. 6.3. Виды профильного стекла открытого *(а)* и закрытого *(б)* сечения:
1 - швеллерное; *2, 3* - ребристое; *4* - обрезное; *5* - коробчатое с одним швом КП; *6* - коробчатое с двумя швами КП-2; *7* - коробчатое с овальными кромками боковых стенок; *8* - треугольное; 9 - коробчатое с козырьком

Стеклопакеты - изделия, состоящие из двух или более листов светопропускающего стекла, соединенные между собой по контуру таким образом, что между ними образуются герметически замкнутые прослойки, заполненные сухим воздухом или другим газом. Они применяются для остекления окон и дверей, витрин, зенитных фонарей зданий различного назначения.

Стеклопакеты подразделяются на клееные, паяные и сварные (рис. 6.4), по числу слоев стекла на двух-, трех- и четырехслойные. Стеклопакетное остекление обладает хорошей тепло- и звукоизолирующей способностью, не запотевает и не нуждается в протирке внутренних поверхностей. Стеклопакеты по назначению подразделяются на обычные, светорассеивающие, упрочненные, безосколочные, солнцезащитные, звукоизоляционные и электрообогреваемые.

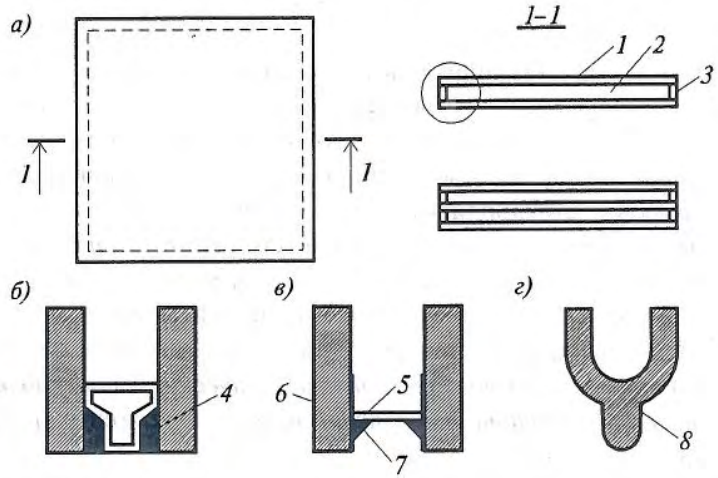


Рис. 6.4. Общий вид двухслойных и трехслойных стеклопакетов *(а)*. Конструктивное решение узлов стеклопакетов - клеевых *(б)*, паяных *(в)* и сварных *(г)*:
1 - стекло; *2* - воздушная (газовая) прослойка; *3* - распорная рамка; *4* - клеящий и герметизирующий слой; *5* - полоса из свинцового сплава; *6* - металлизованный слой на стекле; *7* - место пайки; *8* - узел сварки стекол

Стеклобетонные конструкции представляют собой железобетонный каркас, внутри которого на растворе уложены стеклоблоки. Применяется для заполнения наружных световых проемов, остекления лестничных клеток и для устройства светопрозрачных перегородок и покрытий.

Стеклянная черепица изготовляется в некоторых странах для устройства светопрозрачных фонарей в кровлях из керамической или бетонной черепицы.

Трубы стеклянные и фасонные части к ним применяются для напорных, безнапорных и вакуумных трубопроводов, используемых для транспортировки жидких, газообразных и твердых веществ с различными физико-химическими свойствами (за исключением плавиковой кислоты) при температуре от -50°С до +120°С. Стеклянные трубы производятся диаметром условного прохода от 40 до 200 мм и диной от 1500 до 3000 мм. Основными недостатками стеклянных труб является хрупкость и невысокая термостойкость (около 40°С).

Облицовочные изделия из стекла

Широкий класс облицовочных стекольных и стеклокристаллических материалов разработан в последние два десятилетия. По структурно-агрегатному состоянию они подразделяются на три основные группы: *аморфные* (цветное листовое стекло, стемалит, марблит, стеклормрамор, стеклоплитка, эмалированная плитка, ковровомозаичная плитка, смальта, стеклокрошка); *гетерогенные аморфные системы на основе стекла и газовоздушной смеси* (ковровомозаичная плитка, глушенная газовоздушными включениями; пенодекор, порокерамзит, мозаичная плитка; пемза, спеченная из стеклопорошка); *гетерогенные стеклокристаллические материалы, состоящие из стекловидной и кристаллической фаз* (сигран, стеклокристаллит, стеклокерамит, стеклокремнезит).

Цветное листовое стекло изготавливается на основе обычного и термоупрочненного стекла. Окраска поверхности осуществляется электрохимическим способом. Листы главным образом бронзового цвета имеют светопропускание 1,5-2%. Применяются для декоративного остекления окон, дверей, перегородок, мебели, изготовления витражей и светильников. Для внутренней облицовки и устройства перегородок применяется декоративный триплекс - листы с запрессованной между ними цветной или декоративной пленкой или тонкой тканью. В Японии производится триплекс с декоративной пленкой, имитирующей природный камень оникс.

Стемалит - изделия из листов плоского стекла, внутренняя сторона которых в процессе изготовления окрашена керамической эмалевой краской и подвергнута термообработке, при которой происходит

закрепление эмали на стекле и его упрочнение. Покрытие может быть защищено тонким слоем алюминия, наносимого в вакууме. Стекольные заводы выпускают стемалит 27 различных цветов толщиной 5-7,5 мм с размерами от 400х900 до 1500х1100 мм. Основное назначение - облицовка стен зданий.

Марблит - листовое изделие из цветного глушенного стекла толщиной 5-25 мм с полированной лицевой поверхностью и рифленой тыльной стороной.

Стеклормрамор - разновидность марблита, имеющая мраморовидную окраску различных цветов. Применяется для декоративно-защитной облицовки стен зданий, покрытия полов, оформления интерьеров, антикоррозионной защиты строительных конструкций и футеровки резервуаров.

Облицовочная плитка - изделия из неокрашенного или цветного глушенного стекла размерами от 50х50 до 150х150 мм и толщиной 4-9 мм. Термостойкость плиток 40-45°С. Лицевая поверхность плиток может быть гладкой или с различными рельефными узорами, тыльная сторона - рифленой или шероховатой, что обеспечивает лучшее сцепление с раствором.

Эмалированная плитка изготовляется из цветного оконного или узорчатого стекла путем его резки, нанесения на одну из поверхностей непрозрачной эмали и ее сплавления. Размеры плиток от 100х100 до 200х200 мм, а толщина 4-6 мм. Предназначена для внутренней облицовки зданий различного назначения.

Плитки стеклянные облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них являются одним из наиболее эффективных облицовочных материалов. Они долговечны, обладают морозостойкостью и гигиеничностью, надежно защищает фасады стен зданий от воздействия внешней среды. Выпускаются размерами 21х21х5 и 46х46х5 мм. В различных странах выпускаются плитки до сотни различных цветов и оттенков размерами от 10х10 до 50х50 мм квадратные, прямоугольные, угловые и круглые по форме. Фирма "Ла Валде" в Италии производит 66 цветов венецианской стекломозаики. Там же фирма "Муранита" выпускает стекломозаику 96 цветов.

Смальта представляет собой кусочки глушенного цветного стекла неправильной формы размером до 20 мм, изготовленные литьем стекломассы или прессованные из стеклянного порошка и используемые для отделки фасадов, изготовления мозаичных панно, художественных и декоративных композиций на фасадах зданий или в интерьерах. Палитра смальты превышает 200 цветов и оттенков.

Декоративная стеклокрошка при применении вместо керамических стеклянных плиток для отделки дает существенный экономический эффект. Крошка представляет собой гранулы размерами от 0,4 до 10 мм из глушенного окрашенного или неокрашенного стекла. Стеклянная крошка применяется для декоративной отделки фасадных поверхностей стен и оформления интерьеров.

Пенодекор - плиты размером 450х450 мм и толщиной до 40 мм, лицевая поверхность которых покрыта сплошной стекловидной пленкой широкой гаммы цветов. В качестве сырья используется стеклобой стекла.

Сигран - стеклокристаллический материал, имитирующий гранит, мрамор. Получают методом прессования стекла из шлаковых расплавов. К этой разновидности относятся и плиты из авантюринового стекла (природный авантюрин представляет собой мелкозернистый кварцит). Массовое применение находят хромовые авантюриновые стекла, получаемые на основе минерального сырья и металлургических шлаков с добавками оксидов хрома. Авантюриновые стекла используются и для покрытия керамических плиток в качестве глазури. Применяются для внутренней и наружной отделки интерьеров и витражей, работающих в отраженном свете.

Стеклокристаллит - выпускается в виде плит, получаемых сплавлением гранул из бесцветного или окрашенного стекла. Размеры плит 300х300 и 300х150 мм. Применяется для облицовки стен зданий и устройства полов.

Стеклокремнезит - облицовочно-декоративный плиточный материал, получаемый спеканием массы из стеклянных гранул и наполнителей (песка, глины, шамота).

Стеклокерамит - облицовочный материал, получаемый спеканием массы на основе отходов стекла, глины и кварцевого песка.

Изделия из пеностекла

Пеностекло представляет собой искусственный материал, подобный пемзе. Процесс производства пеностекла заключается во вспучивании размолотого стекла, смешанного с небольшим количеством (1-3%) древесного угля, известняка или других материалов, выделяющих газ при температуре размягчения стекла. Пеностекло хорошо обрабатывается, склеивается, гвоздится, воздухопроницаемо и негигроскопично. Изготавливается в виде блоков и гранул. Плотность пеностекла 100-700 кг/м^3, коэффициент теплопроводности

0,04-0,15 Вт/(м·°С), предел прочности при сжатии 0,1-15 МПа. Широко применяется в конструкциях как теплоизолирующий и звукопоглощающий материал.

Блоки из пеностекла применяются для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования, холодильников (в интервале рабочих температур от -260 до +430°С и относительной влажности до 97%). Максимальные размеры изделий 475х400х120 мм.

Гранулированное пеностекло применяется в качестве особо легкого заполнителя в производстве легкого и конструкционного или теплоизоляционного бетона; изготавливается путем вспенивания во вращающихся печах сырцовых гранул, полученных из порошка стекла, измельченного в шаровых мельницах. Насыпная плотность гранулированного пеностекла - 100-150 кг/м^3.

Материалы на основе стекловолокна

Стеклянное волокно применяется в производстве композиционных строительных материалов в виде непрерывных нитей, тканей, холста, рубленного стекловолокна и стекловаты. Диаметр стекловолокон 5-15 мкм. Прочность их при растяжении достигает 4000 МПа. Непрерывное стекловолокно получают из расплава методами механического вытягивания из фильер плавильных ванн и намотки. Коротковолокнистые материалы получают центробежным или дутьевым способами (рис. 6.5).

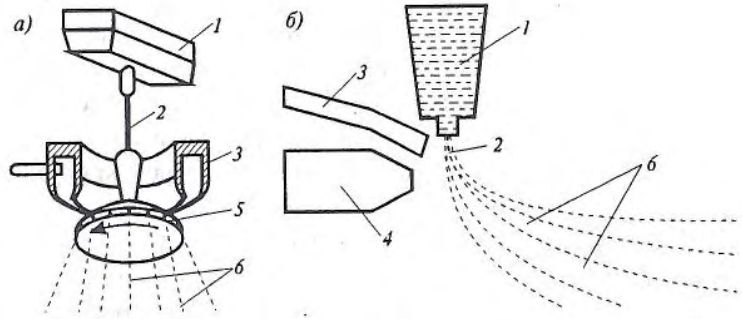


Рис. 6.5. Получение стекловолокна центробежным *(а)* и дутьевым *(б)* способами:
1 - ванна с расплавом; *2* - струя расплава; *3* - грелка; *4* - патрубок подачи сжатого воздуха или пара; *5* - центрифуга; *6* - стеклянное волокно

Непрерывное стекловолокно используется для изготовления стеклонитей и стеклотканей. Стеклонити применяются для изготовления стеклопластиковых труб и резервуаров методом намотки на соответствующие оправки.

Стекловолокнистый холст представляет собой тонкий листовой материал из переплетенных непрерывных волокон, скрепленных синтетическим связующим. Применяется как полуфабрикат для изготовления гидроизоляционных и кровельных материалов, в частности, стеклорубероида.

Стеклоткани применяются для изготовления стеклотекстолитов на полимерном связующем, а также в строительстве при теплоизоляции трубопроводов. Рубленное стекловолокно получают резанием непрерывного стекловолокна и применяют для повышения прочности различных изделий на основе минеральных связующих и в производстве стеклопластиковых светопрозрачных плоских и волнистых листов для кровли и обшивок трехслойных панелей.

§ 4. Ситаллы, шлакоситаллы и ситаллопласты

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы, полученные из стеклянных расплавов путем их полной или частичной кристаллизации. По структуре ситаллы представляют собой композиционные материалы с стекловидной аморфной непрерывной фазой-матрицей, наполненной мелкими кристаллами стекла. Средний размер кристаллов в ситаллах 1-2 мкм, а толщина прослоек стеклофазы не превышает десятых долей микрона. Объем кристаллической фазы в ситаллах достигает 90-95%. Сырьем для производства ситаллов являются те же природные материалы, что и для стекла, но к чистоте сырья предъявляются очень высокие требования. Кроме того, в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке. В качестве катализаторов кристаллизации применяют соединения фторидов или фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов. Технология производства изделий из ситаллов не отличается от технологии производства изделий из стекла, требуется лишь дополнительная термическая обработка стекла в кристаллизаторе. Обладая поликристаллическим строением, ситаллы, сохраняя положительные свойства стекла, лишены его недостатков: хрупкости, малой прочности при изгибе, низкой теплостойкости. По своим физико-техническим свойствам ситаллы выдерживают сравнение с металлами. Твердость ситаллов приближается к твердости закаленной стали. Термостойкость изделий из ситалла достигает 1100°С. Ситаллы обладают высокой стойкостью к воздействию сильных кислот (кроме плавиковой) и щелочей. Отдельные виды ситаллов отличаются жаростойкостью и способностью паяться со сталью. Прочность ситаллов при сжатии - до 500 МПа.

В строительстве ситаллы используются для устройства полов промышленных цехов, в которых могут быть проливы кислот, щелочей, расплавов металлов, а также движение тяжелых машин. Высокую технико-экономическую эффективность дает применение ситаллов для изготовления химической аппаратуры и труб для транспортировки высокоагрессивных сред и теплообменников. По внешнему виду ситаллы могут быть темного, серого, коричневого, кремового, светлого цветов, глухие и прозрачные.

Шлакоситаллы являются разновидностью ситаллов, производство которых получило наиболее широкое развитие. Это стеклокристаллические материалы, получаемые путем управляемой кристаллизации стекла, полученного на основе металлургических шлаков, кварцевого песка и некоторых добавок. По внешнему виду шлакоситаллы - плотные, тонкозернистые и непрозрачные материалы. Плотность шлакоситаллов - 2500-2700 кг/м^3, предел прочности при сжатии до 650 МПа, термическая стойкость - до 750°С. Возможно получение также пеношлакоситалла плотностью 300-600 кг/м^3, прочностью при сжатии 6-14 МПа и термической стойкостью до 750°С, который может применяться для тепловой изоляции трубопроводов теплотрасс и промышленных печей.

Ситаллопласты - материалы, изготовляемые на основе фторопластов и ситаллов, отличаются более высокой химической стойкостью и износостойкостью, чем каждый из компонентов в отдельности. Применяются для изготовления изделий, работающих в условиях, где ни ситаллы, ни фторопласт не удовлетворяют по износостойкости к химическому сопротивлению.

§ 5. Изделия из каменных расплавов

Изделия из каменных расплавов подразделяются на плотные, ячеистые и волокнистые.

Литые каменные изделия изготовляют из расплавов горных пород или шлаков литьем в формы с последующей термической обработкой. По однородности и техническим свойствам литые изделия превосходят многие самые прочные природные каменные материалы.

3. *Кешляк Л.Л., Калиновский В.В.* Производство изделий строительной керамики. - М.: Высшая школа, 1985.

4. *Неназашвили И.Х.* Строительные материалы, изделия и конструкции: Справочник. - М.: Высшая школа, 1990.

Глава VI. СТЕКЛО И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

§ 1. Общие сведения

Стекло и другие плавленые материалы и изделия получают из минеральных силикатных расплавов, сырьем для которых служат распространенные горные породы и некоторые побочные продукты промышленности. Минеральные расплавы в зависимости от исходного сырья разделяются на следующие группы: стеклянные, каменные, шлаковые, ситаллы и шлакоситаллы. Материалы из расплавов обладают высокими показателями долговечности, химической стойкости к воздействию агрессивных сред, отличными декоративными свойствами, а некоторые из них и прозрачностью.

Из минеральных расплавов, получают изделия самого различного назначения: листовые светопрозрачные, конструкционные, отделочные, облицовочные, трубы специальные, тепло- и звукоизоляционные.

Изделия из стекла начали изготовлять еще 3500-4000 лет до н. э. в Египте и Месопотамии. Первый стекольный завод в России был создан в 1638 году близ г. Воскресенска. Основоположником научных основ стекловарения в России является М.В. Ломоносов, который организовал в 1752 году производство разноцветных стекол. До конца XIX века производство изделий из минеральных расплавов для применения в строительстве было связано главным образом с изготовлением листовых светопрозрачных изделий. Бурное развитие техники в прошлом столетии привело к развитию производства из минеральных расплавов широкой номенклатуры материалов и изделий, различных по свойствам, виду и назначению. В последние годы быстро развивалось производство специальных видов строительного и технического стекла, а также теплоизоляционных материалов. Получило распространение производство стеклоблоков, профильного стекла, стеклопакетов. Использование стеклоблоков позволяет снизить теплопотери зданий более чем в 2 раза по сравнению с одинарным остеклением.

§ 2. Стекло и его свойства

Стеклом называют все аморфные тела, получаемые путем переохлаждения расплавов, независимо от их химического состава и температурной области затвердевания, обладающие в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым. Признаками стеклообразного состояния вещества является отсутствие четко выраженной точки плавления, гомогенность и изотропность. В стеклообразном состоянии могут быть получены многие вещества.

Стекло способно образовывать называемые стеклообразующими оксиды SiO_2, P_2O_5 и B_2O_3 без каких либо добавок. Однако в большинстве случаев сырьевой массой для производства стекол является многокомпонентная шихта, содержащая помимо стеклообразующего оксида различные добавки.

В строительстве используют почти исключительно силикатное стекло, основным компонентом которого является диоксид кремния SiO_2.

Стекло не является веществом с определенным химическим составом, который может быть выражен химической формулой, поэтому состав стекла условно выражают суммой оксидов. Состав строительных стекол в зависимости от вида и назначения содержит оксиды (в % по массе): SiO_2 - 64-73,4; Na_2O_3 - 10-15,5; K_2O - 0-5; CaO - 2,5-26,5; MgO - 0-4,5; Al_2O_3 - 0-7,2; Fe_2O_3 - 0-0,4; SO_3 - 0-0,5; B_2O_3 - 0-5.

Каждый из оксидов играет свою роль в процессе варки формирования свойств стекла. Оксид натрия ускоряет процесс варки, понижая температуру плавления, но уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид калия придает блеск и улучшает светопропускание. Оксид кальция повышает химическую стойкость стекла. Оксид алюминия повышает прочность, термическую и химическую стойкость стекла. Оксид бора повышает скорость стекловарения. Для получения оптического стекла и хрусталя в шихту вводят оксид свинца, повышающий показатель светопреломления.

Сырье для производства стекла

Сырьевые материалы для производства стекла разделяются на основные и вспомогательные.

К **основным** относятся минеральное сырье и некоторые продукты промышленности: кварцевый песок, сода, доломит, известняк, поташ, сульфат натрия. Кроме того, в последнее время стали широко использоваться отходы различных отраслей промышленности - доменные шлаки, кварцесодержащие материалы, тетраборит кальция, стеклобой и др.

Минеральное сырье, как правило, имеет большое количество примесей и непостоянный состав. Примеси условно разделяются на две группы:

ухудшающие качества стекломассы (оксиды железа, хрома, титана, марганца, ванадия);

соответствующие основным компонентам состава стекла (оксиды алюминия, кальция, магния, калия, натрия).

Примеси первой группы придают стеклу нежелательную окраску, а также могут привести к образованию пороков в стекле в виде включений. Примеси второй группы обычно учитываются при расчете рецепта шихты.

Вспомогательные сырьевые материалы (осветлители, глушители, красители и др.) вводят в шихту для ускорения варки стекла и придания ему требуемых свойств.

Осветлители (сульфаты натрия и алюминия, калиевая селитра, мышьяковистый ангидрид) способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков.

Глушители (криолит, плавиковый шпат, двойной суперфосфат) делают стекло непрозрачным.

Красители придают стеклу заданный цвет - соединения: кобальта - синий, хрома - зеленый, марганца - фиолетовый, железа - коричневый и сине-зеленые тона и т.д.

Основы производства стекла

Производство строительного стекла состоит из следующих основных операций: обработка сырьевых материалов; приготовление шихты, варка стекла, формование изделий и их отжиг.

Обработка включает дробление и помол материалов, поступающих на завод в виде кусков (доломит, известняк, уголь), сушку влажных материалов (песок, доломит, известняк), просеивание всех компонентов через сита заданного размера.

Приготовление шихты включает операции усреднения, дозирования и смешения. Шихта считается качественной, если отклонение от заданного состава ее не превышает ±1%.

Стекловарение производится в специальных стеклоплавильных печах непрерывного (ванные печи) или периодического (горшковые печи) действия. При нагревании шихты до 1100-1150°С происходит образование силикатов сначала в твердом виде, а затем в расплаве. При дальнейшем повышении температуры в этом расплаве полностью растворяются наиболее тугоплавкие компоненты SiO_2 и Al_2O_3 - образуется стекломасса. Эта масса неоднородна по составу и настолько насыщена газовыми пузырьками, что ее называют варочной пеной. Для осветления и гомогенизации температуру стекломассы повышают до 1500-1600°С. При этом вязкость расплава снижается, облегчается удаление газовых включений и получение однородного расплава. Стекловарение завершается охлаждением (студкой) стекломассы до температуры, при которой она приобретает вязкость, требуемую для выработки стеклоизделий.

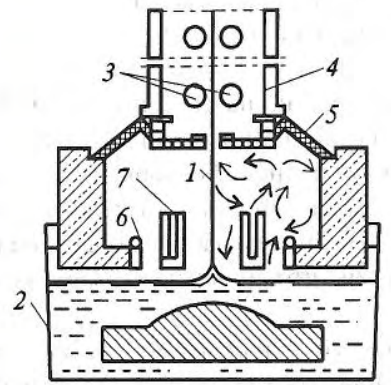


Рис. 6.1. Схема работы машины вертикального вытягивания стекла

1 - лента стекла; *2* - стеклянный расплав; *3* - валики; *4* - шахта машины; *5* - камера; *6* - горелка для поддержания высокой температуры в камере; *7* - холодильники

Формование изделий производится различными методами: вытягиванием, литьем, прокатом, прессованием и выдуванием. Формование листового стекла производится путем вертикального или горизонтального вытягивания ленты из расплава (рис. 6.1), прокатом или способом плавающей ленты (флоат-способ). Метод вытягивания применяют для получения стекла толщиной 2-6 мм. Лента вытягивается из стекломассы вращающимися валками машины через лодочку (огнеупорный брус с продольной прорезью) или свободной поверхности стекломассы (безлодочный способ).

Флоат-способ является наиболее совершенным и высокопроизводительным из всех способов, известных в настоящее время. Он позволяет получать стекло с высоким

качеством поверхности. Особенностью способа является то, что процесс формования ленты стекла протекает на поверхности расплавленного олова в результате растекания стекломассы. Поверхности листового стекла получаются ровными и гладкими и не требуют дальнейшей полировки.

Отжиг - обязательная операция при изготовлении изделий. При быстром охлаждении для закрепления формы изделий в них возникают большие внутренние напряжения, которые могут привести даже к самопроизвольному разрушению стеклоизделий.

Закалка - эта операция применяется при получении стекла с повышенной в 4-6 раз при сжатии и 5-8 раз при изгибе прочностью по сравнению с обычным стеклом. Закалка проводится доведением стекла до пластического состояния и затем резким охлаждением поверхности.

Заключительная обработка изделий включает в себя операции шлифования, полирования, декоративной обработки.

Структура и свойства стекла и стеклоизделий

В процессе производства стекла и особенно на стадии его охлаждения возникает такая структура, которая может быть охарактеризована как промежуточная между полной беспорядочностью частиц жидкого расплава и полной упорядоченностью частиц вещества в кристаллическом состоянии. В стекле наблюдается лишь ближний порядок расположения частиц, что и обуславливает изотропность его свойств.

Плотность обычного строительного силикатного стекла - 2,5 г/см^3. В зависимости от содержания различных добавок стекла специального назначения имеют плотность от 2,2 до 6,0 г/см^3.

Плотность теплоизоляционных стеклоизделий меняется в пределах 15-600 кг/м^3.

Прочность и деформативность стекла. Расчетный теоретический предел прочности при растяжении стекла составляет 12000 МПа, технический - 30-90 МПа, что объясняется наличием в стекле микронеоднородностей, микротрещин, внутренних напряжений, инородных включений и др. Предел прочности при сжатии стекла может составлять 600-1000 МПа и более. Предел прочности стеклянных волокон диаметром 4-10 мкм достигает 1000-4000 МПа. Модуль упругости стекал различного состава колеблется в пределах (4.5-9,8)·10^4 МПа. У стекла отсутствуют пластические деформации.

Хрупкость является главным недостатком стекла, которое плохо сопротивляется удару. Прочность обычного стекла при ударном изгибе составляет всего 0,2 МПа.

Оптические свойства стекол являются их важными свойствами и характеризуются показателями светопропускания (прозрачности), светопреломлением, отражением и рассеиванием. Обычные силикатные стекла пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Коэффициент направленного пропускания света стеклами достигает 0,89.

Теплопроводность стекол меняется от состава в пределах 0,5-1,0 Вт/(м·°С). Теплопроводность теплоизоляционных стеклоизделий составляет 0,032-0,14 Вт/(м·°С). Из-за малого значения коэффициента температурного расширения (9·10^{-6} - 15·10^{-6}) обычное стекло имеет относительно малую термостойкость.

Теплоемкость стекол при комнатной температуре составляет 0,63-1,05 кДж/(кг°С).

Звукоизолирующая способность стекла относительно высока. По этому показателю стекло толщиной 1 см соответствует кирпичной стене в полкирпича - 12 см.

Химическая стойкость стекла зависит от его состава. Силикатное стекло обладает высокой химической стойкостью к большинству агрессивных сред за исключением плавиковой и фосфорной кислот.

§ 3. Стеклянные материалы

Листовые светопрозрачные и светорассеивающие стекла

Листовое стекло - основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин и внутренней отделки зданий.

Оконное стекло производится трех марок: полированное, неполированное улучшенное, неполированное. Оконное стекло производится толщиной от 2,0 до 6,0 мм максимальных размеров в зависимости от толщины от 1000x1600 мм, а минимальных 400x500 мм. Светопропускание оконных стекол 84-89%.

Витринное стекло производится двух марок: М7 - полированное и М8 - неполированное, толщиной 6,5-12 мм и максимальных размеров 3000х6000 мм. Применяется для остекления витрин, витражей и окон общественных зданий. Светопропускание витринных стекол 75-83%.

Стекло листовое узорчатое имеет на одной или обеих сторонах четкий рельефный узор и изготовляется способом проката. Узорчатое стекло бывает бесцветным и цветным, окрашенным в массе или нанесением на поверхность его пленок оксидов различных металлов. Применяется для декоративного остекления оконных и дверных проемов, внутренних перегородок, крытых веранд и т.д. Для этих же целей применяется листовое стекло "мороз", имеющее на одной стороне узор, напоминающий заиндевевшее стекло.

Армированное листовое бесцветное и цветное стекло для устройства световых проемов, фонарей верхнего света, ограждений в зданиях и сооружениях различного назначения. Армированное стекло может иметь обе поверхности или одну поверхность гладкими, рифлеными или узорчатыми. Для армирования применяется сварная или крученная сетка из стальной проволоки со светлой поверхностью или с защитным алюминиевым покрытием. Диаметр проволоки сетки 0,45-0,60 мм. Сетка имеет квадратные или шестиугольные ячейки размерами 12,5 и 25 мм. Армированное стекло отличается повышенной прочностью и огнестойкостью. Светопропускание бесцветного армированного стекла 65-75%.

Увиолевое стекло пропускает 25-75% ультрафиолетовых лучей и применяется для остекления оранжерей и заполнения оконных проемов в детских и лечебных учреждениях. Такое стекло получают из шихты с минимальными примесями оксидов железа, титана, хрома.

Закаленное стекло является безопасным, так как при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми нережущими краями. В строительстве применяют для устройства дверей, перегородок, потолков.

Многослойное стекло (триплекс), армированное или неармированное, состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой, чаще всего из поливинилбутирольной пленки. При ударе оно не дает осколков и является безопасным.

Теплопоглощающее стекло предназначено для защиты интерьеров зданий от воздействия прямого солнечного излучения и уменьшения солнечной радиации в помещениях. Стекла голубого, серого и

бронзового оттенков получают введением в состав стекломассы оксидов кобальта, железа или селена. Задерживая большое количество инфракрасных лучей, стекло нагревается и подвергается большим температурным деформациям. Поэтому при остеклении следует предусматривать достаточный зазор между рамой и стеклом.

Применяется с целью уменьшения нагрева солнцем помещений жилых, культурных, общественных и промышленных зданий.

Теплоотражающее стекло применяется для нагрева помещений от солнечных и тепловых лучей. Изготавливается нанесением на поверхность тонких (0,3-1 мкм) пленок металлов и их оксидов. Светопропускание стекол 30-70%, а пропускание тепла 40-60%. В связи с тем, что в таких стеклах большая часть инфракрасных лучей не поглощается, а отражается, само стекло почти не нагревается. Вследствие уменьшения излучения из помещения они повышают теплозащиту зимой. Стекла имеют различную окраску: золотистую, голубую, оранжевую и др.

Электропроводящее стекло применяется в строительстве для стеклопакетов, используемых как источники тепла. Электропроводящие прозрачные покрытия наносятся на стекло с целью обогрева стекла и предотвращения запотевания. Покрытие получают напылением на поверхность стекла тонкой (0,5 мкм) пленки солей металлического серебра.

Стекло устойчивое к радиоактивным излучениям применяется при строительстве АЭС и предприятий по изготовлению изотопов. Для поглощения радиоактивных лучей используются стекла с высоким содержанием свинца и бора. Например, тяжелое свинцовое стекло плотностью 6200 кг/м^3, содержащее 80% оксида свинца, по своей защитной способности в этом отношении эквивалентно стали.

Светопрозрачные изделия и конструкции

Кроме листового светопроницаемого стекла в строительстве применяются светопрозрачные изделия и конструкции: стеклоблоки, стеклопрофилит, стеклопакеты, стеклобетонные конструкции и стеклянные трубы.

Блоки стеклянные пустотелые применяются для устройства наружных и внутренних ограждений, которые помимо хорошей светопропускающей способности имеют хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства. Стеклоблоки представляют герметически закрытые

полые стеклянные коробки с гладкими наружными и ребристыми внутренними поверхностями (рис. 6.2). Ребра и призмы на внутренней поверхности препятствуют прямой видимости через блок.

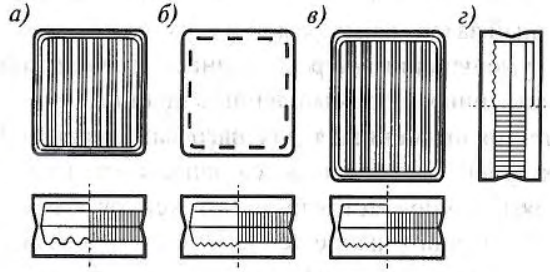


Рис. 6.2. Виды стеклянных блоков:
а) БК 244/98; *б)* БКЦ 194/98;
в), г) БПЦ 294/194/98

Номенклатура пустотелых стеклянных блоков, выпускаемых стекольными заводами страны, включает изделия квадратные и прямоугольные, неокрашенные и цветные.

Светопропускание стеклоблоков в зависимости от их вида меняется в пределах 30-55% Стеклоблоки имеют: термостойкость - 40°С, предел прочности при сжатии 1,5 МПа и сопротивление удару 0,8-0,9 Дж.

Профильное стекло (стеклопрофилит) представляет собой погонажные длинномерные светопрозрачные изделия, применяемые для устройства светопрозрачных ограждений и самонесущих стен, внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в зданиях различного типа. Профильное стекло изготовляется открытого (швеллерное, ребристое и т.д.) и замкнутого (коробчатое, овальное, треугольное и т.д.) сечений (рис. 6.3). неармированное и армированное, бесцветное и цветное, а также с аэрозольным оксидно-металлическим покрытием. Светопропускание стеклопрофилита - 73-82%, теплопроводность - 0,76 Вт/(м°С), термостойкость - 70°С.

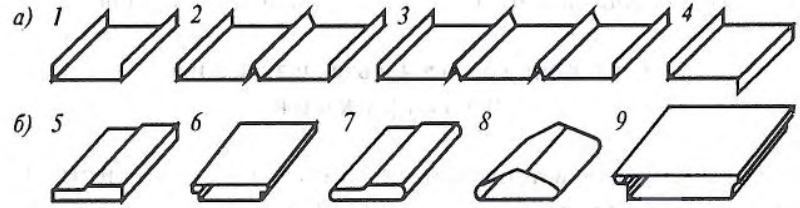


Рис. 6.3. Виды профильного стекла открытого *(а)* и закрытого *(б)* сечения:
1 - швеллерное; *2, 3* - ребристое; *4* - обрезное; *5* - коробчатое с одним швом КП; *6* - коробчатое с двумя швами КП-2; *7* - коробчатое с овальными кромками боковых стенок; *8* - треугольное; 9 - коробчатое с козырьком

Стеклопакеты - изделия, состоящие из двух или более листов светопропускающего стекла, соединенные между собой по контуру таким образом, что между ними образуются герметически замкнутые прослойки, заполненные сухим воздухом или другим газом. Они применяются для остекления окон и дверей, витрин, зенитных фонарей зданий различного назначения.

Стеклопакеты подразделяются на клееные, паяные и сварные (рис. 6.4), по числу слоев стекла на двух-, трех- и четырехслойные. Стеклопакетное остекление обладает хорошей тепло- и звукоизолирующей способностью, не запотевает и не нуждается в протирке внутренних поверхностей. Стеклопакеты по назначению подразделяются на обычные, светорассеивающие, упрочненные, безосколочные, солнцезащитные, звукоизоляционные и электрообогреваемые.

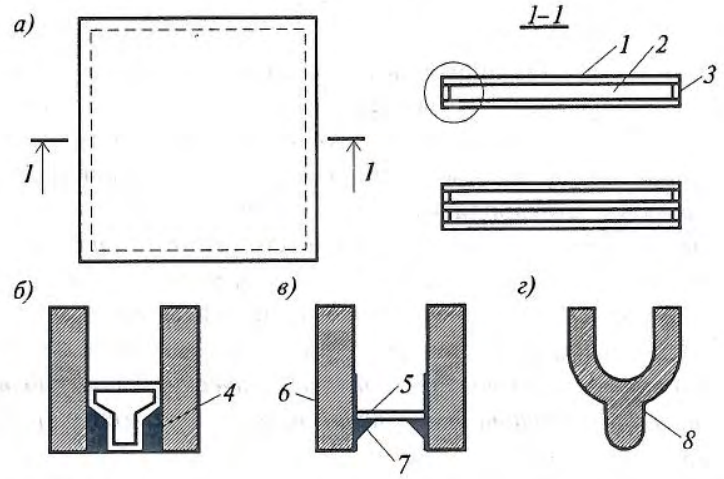


Рис. 6.4. Общий вид двухслойных и трехслойных стеклопакетов *(а)*. Конструктивное решение узлов стеклопакетов - клеевых *(б)*, паяных *(в)* и сварных *(г)*:
1 - стекло; *2* - воздушная (газовая) прослойка; *3* - распорная рамка; *4* - клеящий и герметизирующий слой; *5* - полоса из свинцового сплава; *6* - металлизованный слой на стекле; *7* - место пайки; *8* - узел сварки стекол

Стеклобетонные конструкции представляют собой железобетонный каркас, внутри которого на растворе уложены стеклоблоки. Применяется для заполнения наружных световых проемов, остекления лестничных клеток и для устройства светопрозрачных перегородок и покрытий.

Стеклянная черепица изготовляется в некоторых странах для устройства светопрозрачных фонарей в кровлях из керамической или бетонной черепицы.

Трубы стеклянные и фасонные части к ним применяются для напорных, безнапорных и вакуумных трубопроводов, используемых для транспортировки жидких, газообразных и твердых веществ с различными физико-химическими свойствами (за исключением плавиковой кислоты) при температуре от -50°С до +120°С. Стеклянные трубы производятся диаметром условного прохода от 40 до 200 мм и диной от 1500 до 3000 мм. Основными недостатками стеклянных труб является хрупкость и невысокая термостойкость (около 40°С).

Облицовочные изделия из стекла

Широкий класс облицовочных стекольных и стеклокристаллических материалов разработан в последние два десятилетия. По структурно-агрегатному состоянию они подразделяются на три основные группы: *аморфные* (цветное листовое стекло, стемалит, марблит, стекломрамор, стеклоплитка, эмалированная плитка, ковровомозаичная плитка, смальта, стеклокрошка); *гетерогенные аморфные системы на основе стекла и газовоздушной смеси* (ковровомозаичная плитка, глушенная газовоздушными включениями; пенодекор, порокерамзит, мозаичная плитка; пемза, спеченная из стеклопорошка); *гетерогенные стеклокристаллические материалы, состоящие из стекловидной и кристаллической фаз* (сигран, стеклокристаллит, стеклокерамит, стеклокремнезит).

Цветное листовое стекло изготавливается на основе обычного и термоупрочненного стекла. Окраска поверхности осуществляется электрохимическим способом. Листы главным образом бронзового цвета имеют светопропускание 1,5-2%. Применяются для декоративного остекления окон, дверей, перегородок, мебели, изготовления витражей и светильников. Для внутренней облицовки и устройства перегородок применяется декоративный триплекс - листы с запрессованной между ними цветной или декоративной пленкой или тонкой тканью. В Японии производится триплекс с декоративной пленкой, имитирующей природный камень оникс.

Стемалит - изделия из листов плоского стекла, внутренняя сторона которых в процессе изготовления окрашена керамической эмалевой краской и подвергнута термообработке, при которой происходит

закрепление эмали на стекле и его упрочнение. Покрытие может быть защищено тонким слоем алюминия, наносимого в вакууме. Стекольные заводы выпускают стемалит 27 различных цветов толщиной 5-7,5 мм с размерами от 400х900 до 1500х1100 мм. Основное назначение - облицовка стен зданий.

Марблит - листовое изделие из цветного глушенного стекла толщиной 5-25 мм с полированной лицевой поверхностью и рифленой тыльной стороной.

Стекломрамор - разновидность марблита, имеющая мраморовидную окраску различных цветов. Применяется для декоративно-защитной облицовки стен зданий, покрытия полов, оформления интерьеров, антикоррозионной защиты строительных конструкций и футеровки резервуаров.

Облицовочная плитка - изделия из неокрашенного или цветного глушенного стекла размерами от 50х50 до 150х150 мм и толщиной 4-9 мм. Термостойкость плиток 40-45°С. Лицевая поверхность плиток может быть гладкой или с различными рельефными узорами, тыльная сторона - рифленой или шероховатой, что обеспечивает лучшее сцепление с раствором.

Эмалированная плитка изготовляется из цветного оконного или узорчатого стекла путем его резки, нанесения на одну из поверхностей непрозрачной эмали и ее сплавления. Размеры плиток от 100х100 до 200х200 мм, а толщина 4-6 мм. Предназначена для внутренней облицовки зданий различного назначения.

Плитки стеклянные облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них являются одним из наиболее эффективных облицовочных материалов. Они долговечны, обладают морозостойкостью и гигиеничностью, надежно защищает фасады стен зданий от воздействия внешней среды. Выпускаются размерами 21х21х5 и 46х46х5 мм. В различных странах выпускаются плитки до сотни различных цветов и оттенков размерами от 10х10 до 50х50 мм квадратные, прямоугольные, угловые и круглые по форме. Фирма "Ла Валде" в Италии производит 66 цветов венецианской стекломозаики. Там же фирма "Муранита" выпускает стекломозаику 96 цветов.

Смальта представляет собой кусочки глушенного цветного стекла неправильной формы размером до 20 мм, изготовленные литьем стекломассы или прессованные из стеклянного порошка и используемые для отделки фасадов, изготовления мозаичных панно, художественных и декоративных композиций на фасадах зданий или в интерьерах. Палитра смальты превышает 200 цветов и оттенков.

Декоративная стеклокрошка при применении вместо керамических стеклянных плиток для отделки дает существенный экономический эффект. Крошка представляет собой гранулы размерами от 0,4 до 10 мм из глушенного окрашенного или неокрашенного стекла. Стеклянная крошка применяется для декоративной отделки фасадных поверхностей стен и оформления интерьеров.

Пенодекор - плиты размером 450х450·мм и толщиной до 40 мм, лицевая поверхность которых покрыта сплошной стекловидной пленкой широкой гаммы цветов. В качестве сырья используется стеклобой стекла.

Сигран - стеклокристаллический материал, имитирующий гранит, мрамор. Получают методом прессования стекла из шлаковых расплавов. К этой разновидности относятся и плиты из авантюринового стекла (природный авантюрин представляет собой мелкозернистый кварцит). Массовое применение находят хромовые авантюриновые стекла, получаемые на основе минерального сырья и металлургических шлаков с добавками оксидов хрома. Авантюриновые стекла используются и для покрытия керамических плиток в качестве глазури. Применяются для внутренней и наружной отделки интерьеров и витражей, работающих в отраженном свете.

Стеклокристаллит - выпускается в виде плит, получаемых сплавлением гранул из бесцветного или окрашенного стекла. Размеры плит 300х300 и 300х150 мм. Применяется для облицовки стен зданий и устройства полов.

Стеклокремнезит - облицовочно-декоративный плиточный материал, получаемый спеканием массы из стеклянных гранул и наполнителей (песка, глины, шамота).

Стеклокерамит - облицовочный материал, получаемый спеканием массы на основе отходов стекла, глины и кварцевого песка.

Изделия из пеностекла

Пеностекло представляет собой искусственный материал, подобный пемзе. Процесс производства пеностекла заключается во вспучивании размолотого стекла, смешанного с небольшим количеством (1-3%) древесного угля, известняка или других материалов, выделяющих газ при температуре размягчения стекла. Пеностекло хорошо обрабатывается, склеивается, гвоздится, воздухопроницаемо и негигроскопично. Изготавливается в виде блоков и гранул. Плотность пеностекла 100-700 кг/м^3, коэффициент теплопроводности

0,04-0,15 Вт/(м·°С), предел прочности при сжатии 0,1-15 МПа. Широко применяется в конструкциях как теплоизолирующий и звукопоглощающий материал.

Блоки из пеностекла применяются для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования, холодильников (в интервале рабочих температур от -260 до +430°С и относительной влажности до 97%). Максимальные размеры изделий 475х400х120 мм.

Гранулированное пеностекло применяется в качестве особо легкого заполнителя в производстве легкого и конструкционного или теплоизоляционного бетона; изготавливается путем вспенивания во вращающихся печах сырцовых гранул, полученных из порошка стекла, измельченного в шаровых мельницах. Насыпная плотность гранулированного пеностекла - 100-150 кг/м^3.

Материалы на основе стекловолокна

Стеклянное волокно применяется в производстве композиционных строительных материалов в виде непрерывных нитей, тканей, холста, рубленного стекловолокна и стекловаты. Диаметр стекловолокон 5-15 мкм. Прочность их при растяжении достигает 4000 МПа. Непрерывное стекловолокно получают из расплава методами механического вытягивания из фильер плавильных ванн и намотки. Коротковолокнистые материалы получают центробежным или дутьевым способами (рис. 6.5).

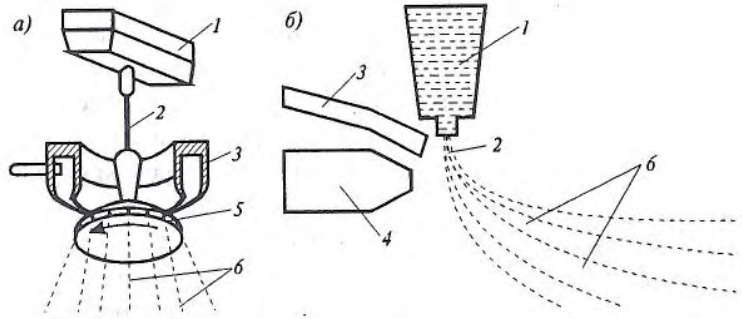


Рис. 6.5. Получение стекловолокна центробежным *(а)* и дутьевым *(б)* способами:
1 - ванна с расплавом; *2* - струя расплава; *3* - грелка; *4* - патрубок подачи сжатого воздуха или пара; *5* - центрифуга; *6* - стеклянное волокно

Непрерывное стекловолокно используется для изготовления стеклонитей и стеклотканей. Стеклонити применяются для изготовления стеклопластиковых труб и резервуаров методом намотки на соответствующие оправки.

Стекловолокнистый холст представляет собой тонкий листовой материал из переплетенных непрерывных волокон, скрепленных синтетическим связующим. Применяется как полуфабрикат для изготовления гидроизоляционных и кровельных материалов, в частности, стеклорубероида.

Стеклоткани применяются для изготовления стеклотекстолитов на полимерном связующем, а также в строительстве при теплоизоляции трубопроводов. Рубленное стекловолокно получают резанием непрерывного стекловолокна и применяют для повышения прочности различных изделий на основе минеральных связующих и в производстве стеклопластиковых светопрозрачных плоских и волнистых листов для кровли и обшивок трехслойных панелей.

§ 4. Ситаллы, шлакоситаллы и ситаллопласты

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы, полученные из стеклянных расплавов путем их полной или частичной кристаллизации. По структуре ситаллы представляют собой композиционные материалы с стекловидной аморфной непрерывной фазой-матрицей, наполненной мелкими кристаллами стекла. Средний размер кристаллов в ситаллах 1-2 мкм, а толщина прослоек стеклофазы не превышает десятых долей микрона. Объем кристаллической фазы в ситаллах достигает 90-95%. Сырьем для производства ситаллов являются те же природные материалы, что и для стекла, но к чистоте сырья предъявляются очень высокие требования. Кроме того, в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке. В качестве катализаторов кристаллизации применяют соединения фторидов или фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов. Технология производства изделий из ситаллов не отличается от технологии производства изделий из стекла, требуется лишь дополнительная термическая обработка стекла в кристаллизаторе. Обладая поликристаллическим строением, ситаллы, сохраняя положительные свойства стекла, лишены его недостатков: хрупкости, малой прочности при изгибе, низкой теплостойкости. По своим физико-техническим свойствам ситаллы выдерживают сравнение с металлами. Твердость ситаллов приближается к твердости закаленной стали. Термостойкость изделий из ситалла достигает 1100°С. Ситаллы обладают высокой стойкостью к воздействию сильных кислот (кроме плавиковой) и щелочей. Отдельные виды ситаллов отличаются жаростойкостью и способностью паяться со сталью. Прочность ситаллов при сжатии - до 500 МПа.

В строительстве ситаллы используются для устройства полов промышленных цехов, в которых могут быть проливы кислот, щелочей, расплавов металлов, а также движение тяжелых машин. Высокую технико-экономическую эффективность дает применение ситаллов для изготовления химической аппаратуры и труб для транспортировки высокоагрессивных сред и теплообменников. По внешнему виду ситаллы могут быть темного, серого, коричневого, кремового, светлого цветов, глухие и прозрачные.

Шлакоситаллы являются разновидностью ситаллов, производство которых получило наиболее широкое развитие. Это стеклокристаллические материалы, получаемые путем управляемой кристаллизации стекла, полученного на основе металлургических шлаков, кварцевого песка и некоторых добавок. По внешнему виду шлакоситаллы - плотные, тонкозернистые и непрозрачные материалы. Плотность шлакоситаллов - 2500-2700 кг/м^3, предел прочности при сжатии до 650 МПа, термическая стойкость - до 750°С. Возможно получение также пеношлакоситалла плотностью 300-600 кг/м^3, прочностью при сжатии 6-14 МПа и термической стойкостью до 750°С, который может применяться для тепловой изоляции трубопроводов теплотрасс и промышленных печей.

Ситаллопласты - материалы, изготовляемые на основе фторопластов и ситаллов, отличаются более высокой химической стойкостью и износостойкостью, чем каждый из компонентов в отдельности. Применяются для изготовления изделий, работающих в условиях, где ни ситаллы, ни фторопласт не удовлетворяют по износостойкости к химическому сопротивлению.

§ 5. Изделия из каменных расплавов

Изделия из каменных расплавов подразделяются на плотные, ячеистые и волокнистые.

Литые каменные изделия изготовляют из расплавов горных пород или шлаков литьем в формы с последующей термической обработкой. По однородности и техническим свойствам литые изделия превосходят многие самые прочные природные каменные материалы.

В зависимости от используемого сырья каменное литье бывает темного и светлого цвета. Для получения изделий темного цвета применяются магматические горные породы - базальты и диабазы. Для получения светлого каменного литья используют осадочные горные породы - доломит, известняк, мрамор и кварцевый песок.

Технология получения литых изделий включает операции дробления, помола, перемешивания компонентов, плавления, отливки изделий, кристаллизацию и отжиг. Плавление диабаза и базальта чаще всего производят в ванных печах или вагранках при температуре 1400-1500°С, а при изготовлении светлого каменного литья - в электропечах.

Плотные литые каменные изделия имеют: плотность 2900-3000 кг/м^3, высокую морозостойкость, прочность при сжатии 200-240 МПа и при растяжении 20-30 МПа; истираемость до 5 раз меньше, чем у гранита, базальта и диабаза; высокую химическую стойкость, в том числе к воздействию концентрированных серной и соляной кислот.

В строительстве литые каменные изделия используют в особо тяжелых условиях эксплуатации: брусчатка для дорог, трубы для агрессивных сред, облицовочные плитки для предприятий химической промышленности.

Термозит (шлаковая пемза) - ячеистый материал, получаемый в результате вспучивания расплава шлака при быстром его охлаждении струей воды. Насыпная плотность щебня из термозита - 300-1100 кг/м^3 позволяет его использовать в качестве эффективного легкого заполнителя для бетонов. Стоимость такого заполнителя в 2-3 раза ниже стоимости керамзита.

Минеральная вата и изделия из нее представляют собой волокнистые материалы, полученные из расплава горных пород или металлургических шлаков. Вату из расплава горных пород называют горной, а из расплава шлаков - шлаковой. Высокая пористость ваты, содержащей пустоты до 95% по объему, обеспечивает ей отличные тепло- и звукоизоляционные свойства. Длина волокон в вате от 2 до 60 мм. Производство минеральной ваты и изделий из нее не отличается от описанной выше технологии производства стекловаты и изделий из нее. Эти изделия производятся марок от 50 до 250 и имеют теплопроводность от 0,032 до 0,077 Вт/(м°С).

Минераловатные изделия применяются для теплоизоляции строительных конструкций при температуре изолируемых поверхностей от -180 до +600°С.

Минераловатные утеплители в нашей стране занимают первое место среди всех других теплоизоляционных материалов.

§ 6. Использование отходов в производстве плавленых изделий

Отходы стекла представляют в различных странах 28-38% всех бытовых отходов. Кроме того значительные отходы стекла образуются на самих стекольных заводах и в строительстве. В связи с этим их утилизация с целью защиты окружающей среды представляет важную экологическую задачу, которая в промышленности строительных материалов находит определенное решение. В настоящее время некоторые фирмы для производства стеклотары используют 90% стеклянного боя. В США и Канаде построено более 30 экспериментальных дорог с использованием более 50% стеклобоя в качестве заполнителя. Эта добавка улучшает торможение и увеличивает долговечность дорог. Значительное применение отходы стекла нашли в производстве отделочных стеклянных материалов и изделий, а также блочного и гранулированного пеностекла. Отходы шлифования стекла применяются в качестве кремнеземистого компонента для замены молотого песка при производстве автоклавных силикатных изделий. Отходы камнедобычи и камнепиления представляют собой наиболее значительные по объему по сравнению с другими отходами промышленности. Использование их в производстве изделий из каменных расплавов является важным направлением рационального их применения. На металлургических заводах стран СНГ ежегодно образуется более 90 млн.т доменных шлаков. Значительная часть их используется в производстве шлакопортландцемента. Вместе с тем имеются большие резервы неиспользуемых шлаков, которые находят и имеют большие перспективы для использования их в производстве изделий из каменного литья: шлаковой пемзы, шлакового щебня, шлаковаты, шлакосиликатов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что является сырьем для производства стекла?
2. Назовите теоретическую и техническую прочность стекла при растяжении и сжатии.
3. Как получают стекловолокно и где оно применяется?
4. В чем особенности структуры ситаллов и их свойств?

5. Какие материалы можно получать из расплавленных природных горных пород?

Дополнительная литература

1. *Полляк В.А.* и др. Технология строительного и технического стекла и шлакоситаллов. - М.: Стройиздат, 1983.

2. Строительные материалы: Справочник /Под ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова.- М.: Стройиздат, 1989.

3. *Лясин В.Ф., Саркисов П.Д.* Новые облицовочные материалы на основе стекла.- М.: Стройиздат, 1987.

4. *Клиндт Л., Клейн В.* Стекло в строительстве. Пер. с нем. - М., 1981.

Глава VII. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Металлы, как материалы, обладают комплексом ценных для строительной техники свойств - большой прочностью, пластичностью, свариваемостью, выносливостью; способностью упрочняться и улучшать другие свойства при термомеханических и химических воздействиях. Этим обуславливается их широкое применение в строительстве и других областях техники. В чистом виде металлы, вследствие недостаточной прочности, твердости и высокой пластичности применяются редко. Главным образом они используются в виде сплавов с другими металлами и неметаллами, например, углеродом. Железо и его сплавы (сталь C ≤ 2,14%, чугун C > 2,14%) называют черными металлами, остальные (Be, Mg, Al, Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn и др.) и их сплавы - цветными (рис. 7.1). Наибольшее применение в строительстве имеют черные металлы. Стоимость их значительно ниже цветных. Однако последние обладают рядом ценных свойств - высокой удельной прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью и декоративностью, расширяющими области их применения в строительстве, в первую очередь архитектурно-строительных деталей и конструкций из алюминия.

Сырьем для получения черных металлов служат руды железа, представленные минералами класса оксидов - магнетитом ($FeFe_2O_4$), гематитом (Fe_2O_3), хромитом ($FeCr_2O_4$) и др. Для производства цветных металлов используются бокситы; сульфидные и карбонатные руды меди, никеля, цинка и др.

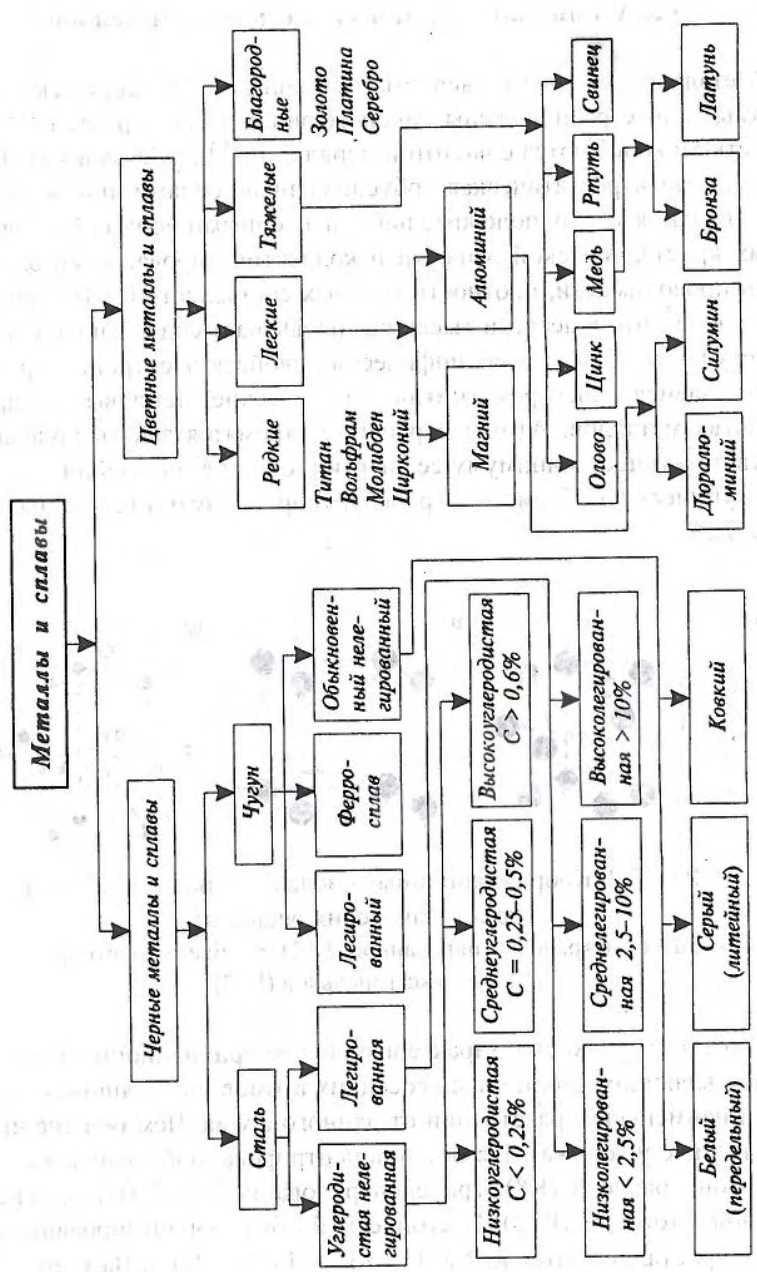


Рис. 7.1. Классификация металлов и сплавов

§ 2. Атомно-кристаллическое строение металлов

Металлы и сплавы в твердом состоянии - кристаллические тела. Атомы в них расположены закономерно в узлах кристаллической решетки и колеблются с частотой порядка 10^{13} Гц. Связь в металлах и сплавах электростатическая, обусловленная силами притяжения и отталкивания между положительно заряженными ионами (атомами) в узлах кристаллической решетки и коллективизированными электронами проводимости, плотность которых составляет 10^{22}-10^{23} электронов в 1 см^3, что в десятки тысяч раз превышает содержание атомов и молекул в воздухе. От специфических свойств электронов проводимости зависят электромагнитные, оптические, тепловые и другие свойства металлов. Атомы в решетке стремятся занять положение, соответствующее минимуму ее энергии, образуя плотнейшие упаковки - кубическую объемно- и гранецентрированную и гексагональную (рис. 7.2).

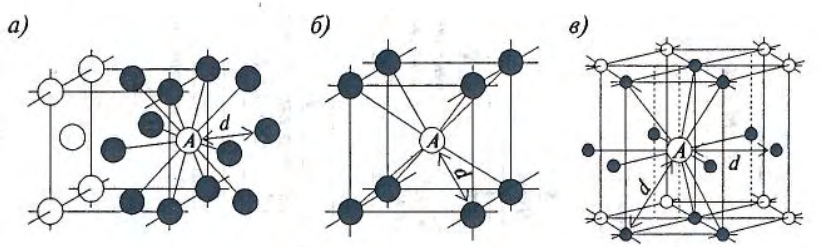


Рис. 7.2. Координационные числа (плотность упаковки) кристаллических решеток:
а) кубической гранецентрированной (К12); *б)* объемноцентрированной (К8); *в)* гексагональной (К12)

Плотность упаковки характеризуется координационным числом, представляющим собой число соседних атомов, находящихся на равном и наименьшем расстоянии от данного атома. Чем больше число, тем плотнее упаковка. Для объемноцентрированной кубической упаковки оно равно 8 (К8); гранецентрированной - 12 (К12); гексагональной - тоже 12 (К12). В кубической объемноцентрированной решетке кристаллизуются K, Na, Li, α-Fe, Mo, W, V, Cr, Ba и др.; кубической гранецентрированной - Ni, Ag, Au, Pt, Cu, γ-Fe; в гексагональной - Mg, Cd, Ru, Be, α-Ti, α-Zn и др.

Расстояние между центрами ближайших атомов в решетке называется периодом решетки. Период решетки для большинства металлов находится в пределах 0,1-0,7 нм. Многие металлы в зависимости от температуры претерпевают структурные изменения кристаллический решетки. Так железо при температуре ниже 910°С и выше 1392°С имеет объемно - центрированную упаковку атомов с периодом решетки 0,286 нм и обозначается α-Fe; в промежутке указанных температур кристаллическая решетка железа перестраивается в гранецентрированную с периодом 0,364 нм, и обозначается γ-Fe.

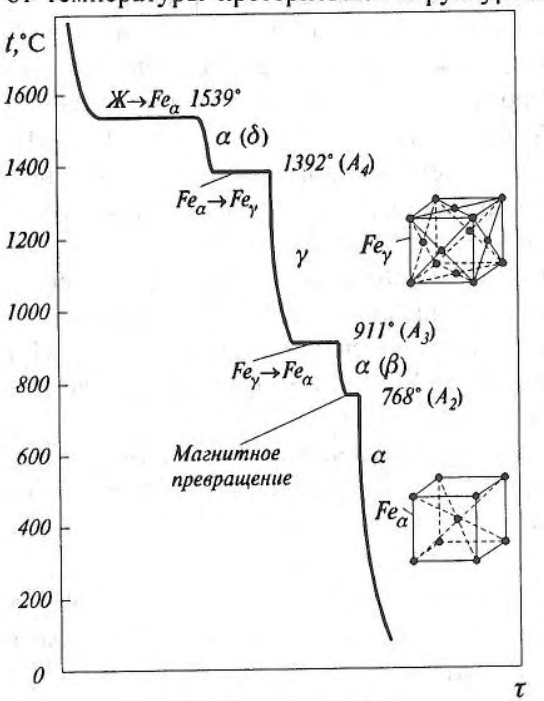


Рис. 7.3. Кривая охлаждения (нагревания) железа

Перекристаллизация сопровождается выделением тепла при охлаждении и поглощением при нагревании, фиксируемым на диаграммах по горизонтальным участкам (рис. 7.3).

Металлы представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа мелких кристаллов неправильной формы. В отличие от кристаллов правильной формы их называют кристаллитами или зернами. Кристаллиты различно ориентированы, поэтому во всех направлениях свойства металлов более или менее одинаковы, т.е. поликристаллические тела изотропны. Однако при одинаковой ориентации кристаллитов такой мнимой изотропности наблюдаться не будет. Кристаллическая решетка металлов и сплавов далека от идеального строения. В ней имеются дефекты - вакансии и дислокации (см.гл.I, § 5).

§ 3. Основы получения чугуна и стали

Чугун получают в ходе доменного процесса, основанного на восстановлении железа из его природных оксидов, содержащихся в железных рудах, коксом при высокой температуре. Кокс, сгорая, образует углекислый газ. При прохождении через раскаленный кокс он превращается в оксид углерода, который и восстанавливает железо в верхней части печи по обобщенной схеме: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$. Опускаясь в нижнюю горячую часть печи, железо плавится в соприкосновении с коксом и частично растворяя его, превращается в чугун. В готовом чугуне содержится около 93% железа, до 5% углерода и небольшое количество примесей кремния, марганца, фосфора, серы и некоторых других элементов, перешедших в чугун из пустой породы. В зависимости от количества и формы связи углерода и примесей с железом, чугуны имеют разные свойства, в том числе цвет, подразделяясь по этому признаку на белые и серые.

Сталь получают из чугуна путем удаления из него части углерода и примесей. Существуют три основных способа производства стали: конвертерный, мартеновский и электроплавильный.

Конвертерный основан на продувке расплавленного чугуна в больших грушевидных сосудах-конвертерах сжатым воздухом. Кислород воздуха окисляет примеси, переводя их в шлак; углерод выгорает. При малом содержании в чугуне фосфора конвертеры футеруют кислыми огнеупорами, например динасом, при повышенном - основными, периклазовыми. Соответственно выплавляемую в них сталь по традиции называют бессемеровской и томасовской. Конвертерный способ отличается высокой производительностью, обусловившей его широкое распространение. К недостаткам его относятся повышенный угар металла, загрязнение шлаком и наличие пузырьков воздуха, ухудшающими качество стали. Применение вместо воздуха кислородного дутья в сочетании с углекислым газом и водяным паром значительно улучшает качество конвертерной стали.

Мартеновский способ осуществляется в специальных печах, в которых чугун сплавляется вместе с железной рудой и металлоломом (скрапом). Выгорание примесей происходит за счет кислорода воздуха, поступающего в печь вместе с горючими газами и железной рудой в составе оксидов. Состав стали хорошо поддается регулированию, что позволяет получать в мартеновских печах высококачественные стали для ответственных конструкций.

Электроплавление является наиболее совершенным способом получения высококачественных сталей с заданными свойствами, но требует повышенного расхода электроэнергии. По способу ее подведения электропечи подразделяются на дуговые и индукционные. Наибольшее применение в металлургии имеют дуговые печи. В электропечах выплавляют специальные виды сталей - средне- и высоколегированные, инструментальные, жаропрочные, магнитные и другие.

§ 4. Механические свойства металлов

Механические свойства устанавливают по результатам статических, динамических и усталостных (на выносливость) испытаний.

Статические испытания характеризуются медленным и плавным приложением нагрузки. Основными из них являются: испытания на растяжение, твердость и вязкость разрушения.

Для **испытания на растяжение** используют стандартные образцы с расчетной длиной $l_p = 10d$ и площадью 11,3 A_o, где d и A_o - соответственно диаметр и площадь поперечного сечения образца сортового проката круглого, квадратного или прямоугольного сечения.

Испытания проводят на разрывных машинах с автоматической записью диаграммы растяжения. На рис. 7.4 представлена такая диаграмма для среднеуглеродистой стали. Кривая *1* характеризует поведение металла под действием условных напряжений, $\sigma = P/A_o$, а кривая *2* - под действием истинных напряжений, $S = P/A_x$, (где A_o и A_X - соответственно площади поперечного сечения образца до испытания и на каждой ступени нагружения вплоть до разрушения. Обычно пользуются диаграммой условных напряжений, хотя более объективной является кривая *2*. Напряжение σ_y (точка K на диаграмме) характеризует предел пропорциональности. Его оценивают по отношению $(tg\alpha_0 - tg\alpha_1)/ tg\alpha_0$, которое не должно превышать 0,5 (здесь α_0 и α_1 - соответственно углы наклона касательных к начальному участку диаграммы при линейной и нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями.

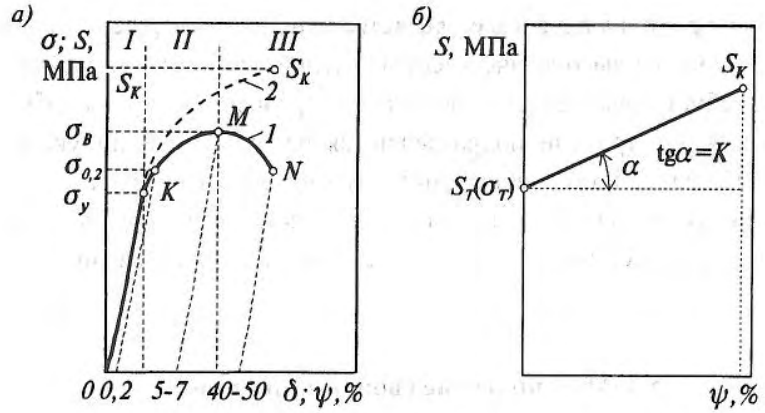


Рис. 7.4. Диаграммы растяжения металла:
а) для условных (сплошные линии) и истинных (штриховые линии) напряжений; *I* - область упругой деформации; *II* -то же пластической; *III* - область развития трещин; *б)* условно истинных напряжений

Предел упругости определяют напряжением, при котором остаточная деформация удлинения не превышает 0,05%. Предел текучести характеризуется условным пределом текучести, $\sigma_{0,2}$, при котором остаточная деформация не превышает 0,2%. Физический предел текучести, σ_T соответствует напряжению, при котором образец деформируется без дальнейшего увеличения нагрузки. Напряжение σ_B (точка *M* на диаграмме), отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называется временным сопротивлением (пределом прочности). Начиная с этого момента деформация локализуется на одном участке образца, напряжение падает и происходит разрушение (точка *N* на диаграмме). Истинное сопротивление разрушению S_K, как видно из диаграммы, больше σ_B, что свидетельствует об упрочнении (наклепе) металла при испытании. Различие больше для пластичных и незначительно для хрупких металлов. Для высокоуглеродистых сталей $S_T=\sigma_T$ и $S_T \approx S_K$, так как хрупкие металлы почти не испытывают пластических деформаций. $S_K(S_T)$ при хрупком разрушении характеризует сопротивление металлов отрыву. Для материалов хрупких при испытании на растяжение, применяют статические испытания на сжатие (для чугуна), на кручение (для закаленных и конструкционных сталей) и изгиб (для отливок из серого и ковкого чугуна).

Пластические свойства металлов характеризуются относительным удлинением, $\delta = [(l_K - l_0)/ l_0]\ 100\%$ и сужением, $\psi = [(A_0 - A_K)/ A_0]\ 100\%$, где l_0, l_K и A_0, A_K - соответственно длина и площадь поперечного сечения образца до и после разрушения.

Твердость металлов испытывают путем вдавливания в него под определенной нагрузкой стального шарика, алмазного конуса или пирамиды (рис. 7.5) и оценивают по величине произведенной пластической деформации (отпечатку). В зависимости от вида используемого наконечника и критерия оценки различают твердость по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

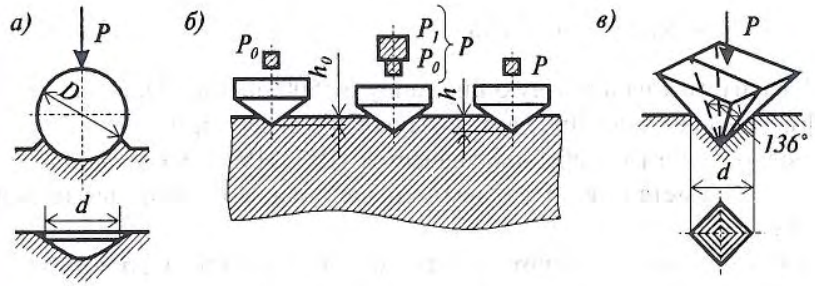


Рис.7.5. Схема определения твердости:
а) по Бринеллю; *б)* по Роквеллу; *в)* по Виккерсу

Твердость металлов по Бринеллю рассчитывают по формуле:

$$HB = 2P / \pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}\,)10^{-6},\ \text{МПа}, \qquad (7.1)$$

где P - нагрузка, (Н); D - диаметр стального шарика, (м). В приборе принят $D = 1 \cdot 10^{-2}$ м; d - диаметр отпечатка (лунки), (м).

При испытании значение P принимают: для стали и чугуна - $3 \cdot 10^4$ Н, меди и сплавов - $1 \cdot 10^4$ Н, а очень мягких металлов (алюминия, баббита) - $2{,}5 \cdot 10^3$ Н. Метод применим для металлов и сплавов с твердостью не более 4500 МПа, так как при большей твердости стальной шарик может деформироваться.

Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах по формулам:

$HR = 100 - e$ (при вдавливании алмазного конуса с углом при вершине 120°), (7.2)

$HR = 130 - e$ (при вдавливании стального шарика, $D = 1{,}588 \cdot 10^{-3}$ м), (7.3)

где $e = (h - h_0)/2 \cdot 10^{-6}$, h - глубина внедрения наконечника (м), под действием общей нагрузки P после снятия основной нагрузки P_1 , h_0 - глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки P_0, (м).

Предварительная нагрузка P_0 при испытаниях независимо от вида наконечника принята 100 Н; основная P_1 для стального шарика - 900 Н (шкала В), алмазного конуса - 1400 Н (шкала С) и 500 Н (шкала А). В соответствии с этим твердость по Роквеллу обозначается HRA, HRB, HRC. Метод широко применяется в промышленности, особенно для твердых и тонколистовых металлов и сплавов.

Твердость по Виккерсу определяют по формуле:

$$HV = 1{,}8544\ (P/d^2) \cdot 10^{-6},\ \text{МПа}, \qquad (7.4)$$

где P - нагрузка на алмазную пирамиду от 500 до 1200 Н; d - среднеарифметическое значение двух диагоналей отпечатка, м.

Твердость по Виккерсу обозначается HV5, HV10 и т.д. Чем тоньше и тверже металл и сплав, тем меньше должна быть нагрузка при испытании.

Для определения микротвердости мелких изделий и структурных составляющих металлов используют также метод Виккерса в приборном сочетании с металлографическим микроскопом.

Испытание металлов на **вязкость разрушения** проводят на стандартных образцах с надрезом при трехточечном изгибе. Метод позволяет оценить сопротивление металла распространению, а не зарождению трещины или трещиноподобного дефекта любого происхождения, всегда имеющегося в металле. Вязкость разрушения оценивается параметром K, представляющим собой коэффициент интенсивности напряжений или локальное повышение растягивающих напряжений (МПа) в вершине трещины:

$$K = Y\sigma_H \sqrt{\pi C}\,. \qquad (7.5)$$

Условие стабильного существования трещины без ее роста и развития будет $K < K_{1c}$, где K_{1c} - критический коэффициент интенсивности напряжений, определяемой при испытании образцов-балочек с надрезом на изгиб. Он характеризует трещиностойкость металла и является структурно-чувствительной характеристикой; уменьшается при понижении температуры, увеличении скорости приложения нагрузки и коррозии металла.

Динамические испытания металлов проводят на ударный изгиб и знакопеременное циклическое нагружение. На ударный изгиб испытывают образцы металла размерами $(1\times1\times5{,}5)10^{-2}$ м с концентратором напряжения (надрезом) посредине. Испытание проводят на маятниковом копре. Сопротивление металла ударному изгибу называют ударной вязкостью и обозначают *KCU*, *KCV* и *KCT* (где *KC* - символ ударной вязкости, а *U*, *V* и *T* - вид и размер концентратора напряжения). Она представляет работу Q удара, отнесенную к начальной площади A_0 сечения образца в месте концентратора, т.е. $KC = Q/A_0$, МДж/м^2. Ударная вязкость характеризует сопротивление металла хрупкому разрушению и используется для определения порога хладноломкости.

Сопротивление металла циклическому нагружению характеризуется максимальным напряжением, которое может выдержать металл без разрушения за заданное число циклов и называется п р е д е л о м в ы н о с л и в о с т и. Применяют симметричные и несимметричные циклы нагружения. Предел выносливости резко снижается при наличии концентраторов напряжений. Чувствительность к ним при симметричном цикле нагружения определяется эффективным коэффициентом напряжений $K_{эф} = \sigma_1/\sigma_{1H}$ (где σ_1 и σ_{1H} - пределы выносливости образцов гладкого и с надрезом).

§ 5. Кристаллизация и фазовый состав железоуглеродистых сплавов

Кристаллизация развивается только при переохлаждении металла ниже равновесной температуры. Процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей (центров кристаллизации) и продолжается при их росте. В зависимости от условий кристаллизации (скорости охлаждения, вида и количества примесей) образуются кристаллы разных размеров от 10^2 до 10^6 нм правильной и неправильной формы.

В сплавах в зависимости от состояния различают следующие фазы: жидкие и твердые растворы, химические и промежуточные соединения (фазы внедрения, электронные соединения и др.). Ф а з о й называется физически и химически однородная часть системы (металла или сплава), имеющая одинаковый состав, строение, одно и то же агрегатное состояние и отделенная от остальных частей системы разделяющей поверхностью. Поэтому жидкий металл представляет собой однофазную систему, а смесь двух различных кристаллов или

одновременное существование жидкого расплава и кристаллов соответственно двух- и трехфазные системы. Вещества, образующие сплавы, называются компонентами.

Твердые растворы представляют собой фазы, в которых один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого или других компонентов располагаются в кристаллической решетке первого компонента (растворителя), изменяя ее размеры (периоды). Различают твердые растворы замещения и внедрения. В первом случае атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в узлах его кристаллической решетки; во втором они располагаются в межузлиях (пустотах) кристаллической решетки растворителя, причем в тех из них, где имеется больше свободного пространства. В растворах замещения период решетки может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от соотношения атомных радиусов растворителя и растворенного компонента; в растворах внедрения - всегда увеличиваться. Твердые растворы внедрения возникают только в случаях, когда диаметры атомов растворенного компонента невелики. Например, в железе, молибдене, хроме могут растворяться и образовывать твердые растворы внедрения углерод, азот, водород. Такие растворы имеют ограниченную концентрацию, так как число пор в решетке растворителя ограничено.

В металловедении твердые растворы принято обозначать буквами греческого алфавита α, β, γ и т.д., например, α-Fe, β-Fe, γ-Fe. Микроструктура твердого раствора мало отличается от структуры чистого металла. Все металлы могут в той или иной степени взаимно растворяться в твердом состоянии. Так в алюминии может растворяться до 5,5% меди, а в меди 39% цинка без изменения кристаллической решетки. Твердые растворы замещения с неограниченной растворимостью могут образовываться в случаях, когда компоненты имеют одинаковые кристаллические решетки; различия в размерах атомов (ионов) не превышают 9-15%, и компоненты принадлежат к одной группе периодической системы или смежным группам. Такой взаимной растворимостью обладают, например, металлы с гранецентрированной кубической решеткой: Ag и Cu; Cu и Ni; Fe и Co; Fe и Cr; Ni и Pd.

Химические соединения образуются между компонентами, значительно отличающимися электронным строением атомов и кристаллических решеток. В большинстве случаев они не подчиняются законам валентности и не имеют постоянного состава. Например, цементит - Fe_3C, содержащий 6,67% углерода по массе, а также

соединения марганца с элементами IV-VI групп периодической системы. Соединения металлов имеют общее название интерметаллидов.

Фазы внедрения - карбиды, нитриды, бориды, гидриды образуются переходными металлами Fe, Mn, Cr, Mo и др. с углеродом, азотом, бором и водородом, т.е. элементами с малым атомным радиусом. Они имеют много общего в строении и свойствах. В отличие от твердых растворов внедрения, фазы внедрения имеют самостоятельную кристаллическую решетку. Они переменного состава и обладают высокой твердостью.

Электронные соединения образуются между одновалентными элементами (Cu, Ag, Au, Li, Na) или переходными металлами и простыми металлами с валентностью от 2 до 5 (Be, Mg, Zn, Sn, Cd, Al). Они имеют определенную электронную концентрацию (отношение числа валентных электронов к числу атомов) и отличную от компонентов кристаллическую решетку. Соединения этого типа характерны для сплавов меди-латуни (CuZn), оловянистых (Cu_3Sn), алюминиевых и бериллиевых бронз.

Процесс кристаллизации металлических сплавов описывают диаграммами состояния или фазового равновесия, получаемыми на основе термического анализа. Они характеризуют окончательное состояние сплавов, в которых все фазовые превращения произошли и полностью закончились. На рис. 7.6 приведена диаграмма состояния Fe-Fe_3C, которую условно представляют как Fe-C, имея в виду пропорциональное содержание углерода и цементита в сплаве. Вероятность образования метастабильного цементита в жидкой фазе или аустените при обычном и ускоренном охлаждении значительно больше, чем графита. Последний выделяется только при медленном охлаждении сплава (штриховые линии на диаграмме состояния).

Точка A (1539°C) соответствует температуре плавления чистого железа, точка D (1250°C) - температуре плавления цементита Fe_3C. Точки N (1392°C) и G (910°C) соответствуют полиформному превращению α - Fe $\rightleftarrows$ γ - Fe. Точка E (1147°C) характеризует предельную растворимость углерода (2,14%) в γ-Fe. Кристаллизация сплавов начинается при достижении температур, соответствующих линии ликвидус *АВСД*, а конец затвердевания - по достижении температур соответствующих линии солидус *AHJECF*. Верхний левый угол диаграммы характеризует аллотропическое превращение $\alpha(\delta) \rightleftarrows \gamma$ - Fe при высоких температурах. В интервале температур 1392-1539°C α-Fe нередко обозначается, как δ-Fe. До точки Кюри (768°C) железо

ферромагнитно; выше парамагнитно. В системе Fe-F_3C различают следующие фазы: жидкий сплав, твердые растворы - феррит и аустенит, цементит и графит.

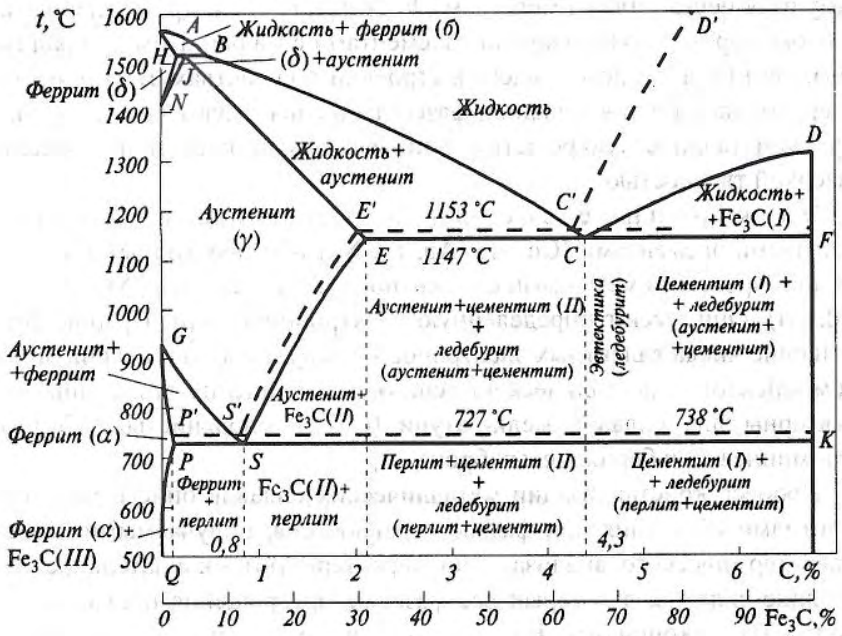


Рис. 7.6. Диаграмма состояния Fe-Fe_3C

Ф е р р и т - твердый раствор углерода в α-Fe. Атомы углерода располагаются в центре граней куба, в вакансиях, на дислокациях. Предельная растворимость углерода в феррите при 20°С ≈ 0,006%, 727°С = 0,02%, в интервале 1392-1539°С = 0,1%. В смеси с другими фазами феррит устойчив ниже линии *GSK* на диаграмме (рис. 6.6) в доэвтектоидных сталях, серых и ковких чугунах. Чистый феррит пластичен, имеет небольшую прочность и твердость, магнитен. σ_B = =250 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 120 МПа, δ = 50%, ψ = 80%, НВ 800-900 МПа.

А у с т е н и т - твердый раствор углерода в γ-Fe. Предельная растворимость углерода в аустените 2,14% при 1147°С. Атомы углерода располагаются в центре элементарной ячейки и дефектных областях кристалла. Повышенная растворимость углерода в аустените обусловлена большим объемом и числом пор в кристаллической решетке γ-Fe. Аустенит устойчив в железоуглеродистых сплавах при t > 727°С. Легирование его Mn, Cr, Si, Mo и B повышает устойчивость аустенита при охлаждении вплоть до комнатной температуры и

определяет возможность получения закалочных структур - бейнита и мартенсита, при большой толщине проката. Прочность и твердость аустенита в 2,5-3 раза больше феррита при той пластичности и пределе текучести; он легко наклепывается, обладает большим температурным коэффициентом теплового расширения.

Ц е м е н т и т - химическое соединение железа с углеродом - карбид железа (Fe_3C), содержащий 6,67% С, имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Цементит является метастабильной фазой, претерпевающей изменения при легировании и термической обработке сплавов. Различают первичный цементит, выделяющийся при кристаллизации из жидкого расплава и вторичный и третичный цементиты, выделяющиеся при распаде аустенита и феррита. Твердость цементита в 3-4 раза больше аустенита и в 9-10 раз - феррита.

Г р а ф и т - стабильная фаза, выделяющаяся при медленном охлаждении сплава и наличии графитизирующих элементов Si, Ni, Cu, Al и других включений, служащих графитными зародышами. Графит имеет слоистое строение, малую прочность и электропроводность, мягок и хрупок.

Сплавы железа с углеродом, содержащие до 2,14 %, называют с т а л ь ю, содержащие больше 2,14% С - ч у г у н о м. Принятое разграничение связано с предельной растворимостью углерода в аустените. Стали после затвердевания не содержат легкоплавкой эвтектики - л е д е б у р и т а (точка *C* на диаграмме состояния), характерной для чугуна при содержании углерода 4,3%. При высоком нагреве стали имеют структуру чистого аустенита. На диаграмме состояния (рис. 7.6) область его существования ограничена линиями *JESGN*. Линия *GS* соответствует началу выделения феррита, линия *CD* - первичного, а *ES* - вторичного цементита. Линия *PSK* соответствует распаду аустенита и образованию эвтектоидной структуры п е р л и т а при концентрации углерода в сплаве 0,8%. Линия *PQ* показывает изменение растворимости углерода в низкотемпературном α-феррите и соответствует началу выделения из феррита третичного цементита. Существенное влияние на качество структуры и свойства стали имеют термическая и термомеханическая обработка сплавов в температурных областях, расположенных по обе стороны линий *PSK* и *GSE*. В зависимости от процентного содержания углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие наименования:

- техническое железо $C \leq 0,02\%$,
- доэвтектоидные стали $C = 0,02\text{-}0,8\%$,
- эвтектоидные стали $C = 0,8\%$,
- заэвтектоидные стали $C = 0,8\text{-}2,14\%$,
- доэвтектические чугуны $C = 2,14\text{-}4,3\%$,
- эвтектика - ледебурит $C = 4,3\%$,
- заэвтектические чугуны $C = 4,3\text{-}6,67\%$.

Сплавы железа с углеродом после окончания кристаллизации имеют различную структуру, но одинаковый фазовый состав; при температурах ниже 727°С они состоят из феррита и цементита. Существует определенная связь между типом диаграммы, пластичными и литейными свойствами сплавов. Твердые растворы имеют низкие литейные свойства и склонность к образованию рассеянной пористости и трещин. Для получения высоких литейных свойств концентрация компонентов в сплавах должна превышать их предельную растворимость в твердом состоянии и приближаться к эвтектическому составу. Поэтому чугуны обладают лучшими литейными свойствами, чем стали. Для обеспечения пластичных свойств сплавов концентрация компонентов поэтому не должна превышать их предельной растворимости при эвтектической температуре.

§ 6. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали

Сталь является многокомпонентным сплавом, содержащим углерод и ряд постоянных примесей Mn, Si, S, P, O, H, N. После охлаждения сталь состоит из феррита и цементита. От их соотношения зависят многие свойства стали. При содержании углерода в стали более 1...2% твердость ее возрастает, а временное сопротивление уменьшается, что объясняется выделением по границам бывшего зерна вторичного цементита. Кремний и марганец присутствуют в стали в количестве соответственно 0,35...0,4% и 0,5...0,8%. Кремний повышает предел текучести и снижает способность стали к холодной деформации - высадке, штамповке. Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, но уменьшает красноломкость, т.е. хрупкость при высоких температурах, вызванную серой. Последняя образует с железом химическое соединение FeS, образующее с железом эвтектику при 988°С, по границам его зерен. При прокатке или ковке такой стали при 1000...1200°С эвтектика между зернами расплавляется, связь между ними нарушается, вследствие чего в направлении деформирования появляются надрывы и трещины. Это явление называется красноломкостью. Сера, кроме того, снижает ударную вязкость и предел выносливости, ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость. Поэтому содержание серы в стали ограничивается до 0,035...0,06%. Марганец обладает большим сродством к сере и образует с ней тугоплавкое соединение MnS, практически исключающее красноломкость.

Фосфор является вредной примесью в стали. Растворяясь в феррите, он сильно искажает кристаллическую решетку, повышает σ_B, $\sigma_{0,2}$ и порог хладноломкости; уменьшает δ, ψ и KCT. Каждая 0,01%P повышает порог хладноломкости стали на 20...25°С. Содержание его в стали ограничивается до 0,025...0,08%.

Азот и кислород присутствуют в стали в виде хрупких включений FeO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_4N, твердых растворов или в свободном состоянии в раковинах, трещинах и других дефектных участках металла. Концентрируясь по границам зерен в виде оксидов и нитридов, они повышают порог хладноломкости, уменьшают ударную вязкость и предел выносливости стали.

Особенно вреден растворенный в стали водород. Он не только охрупчивает ее, но и приводит к образованию в катаных заготовках и поковках тонких трещин - флокенов. В изломе они имеют вид хлопьев серебристого цвета. Флокены резко ухудшают свойства стали.

§ 7. Модифицирование структуры и свойств стали

Свойство железоуглеродистых сплавов испытывать фазовые превращения при кристаллизации и повторном нагревании - охлаждении, изменять структуру и свойства под влиянием термомеханических и химических воздействий и примесей-модификаторов широко используется в металлургии для получения металлов с заданными свойствами.

При разработке и проектировании стальных и железобетонных конструкций зданий и сооружений, технологического оборудования и машин (автоклавов, обжигательных печей, мельниц, напорных и безнапорных трубопроводов различного назначения, металлоформ для изготовления строительных изделий, строительных машин и др.) необходимо учитывать климатические, технологические и аварийные условия их работы. Низкие отрицательные температуры понижают порог хладноломкости, ударную вязкость и вязкость разрушения.

Повышенная температура снижает модуль упругости, временное сопротивление разрыву, предел текучести, что отчетливо проявляется, например, при пожарах. При 600°С сталь, а при 200°С - алюминиевые сплавы, полностью переходят в пластическое состояние и конструкции, находящиеся под нагрузкой, теряют устойчивость. Вот почему незащищенные металлические конструкции обладают сравнительно небольшой огнестойкостью. Технологическое оборудование - котлы, трубопроводы, автоклавы, металлоформы, а также арматура железобетонных конструкций, постоянно подвергающиеся в процессе производства циклическому нагреву - охлаждению в интервале температур 20-200°С и более, испытывают термическое старение и низкотемпературный отпуск, усугубляемые часто коррозией, которые необходимо учитывать при выборе марок стали для конкретных целей.

Основными способами модифицирования структуры и свойств стали, применяемыми в металлургии, являются:

- введение в расплавленный металл веществ, образующих тугоплавкие соединения (карбиды - ZrC, VC, NbC, TiC; нитриды - AlN; оксиды - $(Cr, Fe)_2O_3$, $(A1, Fe)_2O_3$), являющиеся центрами кристаллизации;
- введение легирующих элементов, повышающих прочность кристаллических решеток феррита и аустенита, замедляющих диффузионные процессы выделения углерода, карбидов и движение дислокаций;
- термическая и термомеханическая обработка стали.

Они направлены главным образом на измельчение зерен охлажденной стали, снятие остаточных напряжений и повышение ее химической и физической однородности. В результате повышаются σ_B, $\sigma_{0,2}$, K_{1c}, KCU, σ_{-1}, прокаливаемость стали; снижаются твердость, порог хладноломкости, отпускная хрупкость, склонность к термическому и деформационному старению, улучшаются пластические свойства стали. Ниже рассмотрены специфические особенности указанных способов.

Легирующие элементы вводят в конструкционные стали в количестве: Cr - 0,8-1,1%; Ni - 0,5-4,5%; Si - 0,5-1,2%; Mn - 0,8-1,8%. Элементы W - 0,5-1,2%; Mo - 0,15-0,4%; V - 0,1-0,3%; Ti - 0,06-0,12%; B - 0,002-0,005% и другие вводят в сталь в сочетании с Cr, Ni и Mn для дополнительного улучшения ее свойств. Являясь карбидообразующими элементами, они одновременно служат добавками-модификаторами, обеспечивающими зарождение и измельчение зерна стали при кристаллизации расплава.

В марках легированных сталей вид и содержание легирующих элементов указывают буквами и цифрами, стоящими справа от букв. Они указывают примерное содержание (%) легирующего элемента; отсутствие цифр означает, что оно не превышает 1,5%. Принятые обозначения легирующих элементов: А - азот, Б - ниобий, В - вольфрам, Г -марганец, Д - медь; Е - селен, К - кобальт, Н - никель, М - молибден, П - фосфор, Р - бор, С - кремний, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цирконий, Ч - редкоземельный, Ю - алюминий. Содержание углерода указывают двузначными цифрами, приводимыми в начале марки стали в сотых долях процента. Например, марка стали 12ХН3А означает, что в ней содержится в среднем 0,12% С, до 1-1,5% Cr, 3% Ni и до 1% N. При суммарном содержании легирующих элементов до 2,5% стали относят к низколегированным, от 2,5% до 10% - к среднелегированным, свыше 10% - к высоколегированным. Легирующие элементы образуют с железом твердые растворы замещения, растворяются в цементите, замещая в нем атомы железа; образуют специальные карбиды, например, легированный цементит $(Fe, Cr)_3C$, а при высоком содержании - интерметаллические соединения - FeCr, FeV, Fe_3Ti и др.

Легирующие элементы, растворяясь в феррите и аустените, уменьшают размер зерна и частиц карбидной фазы. Наиболее сильно тормозят рост зерен аустенита и продуктов его распада модификаторы: Ti, Nb, Zr, V и N, образующие труднорастворимые карбиды. Располагаясь по границам зерен, они затрудняют их рост, диффузию углерода и других легирующих элементов и повышают устойчивость аустенита к переохлаждению. Поэтому низколегированные стали имеют мелкозернистую структуру и более высокие качественные показатели. Особенно заметно упрочняют сталь легирующие элементы Ni, Mn и Si.

Термическая и термомеханическая обработка являются распространенными способами модифицирования структуры и улучшения свойств стали. Различают следующие их виды: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Отжиг включает процессы гомогенизации, рекристаллизации и снятия остаточных напряжений.

На рис. 7.7 представлены температурные области различных видов отжига.

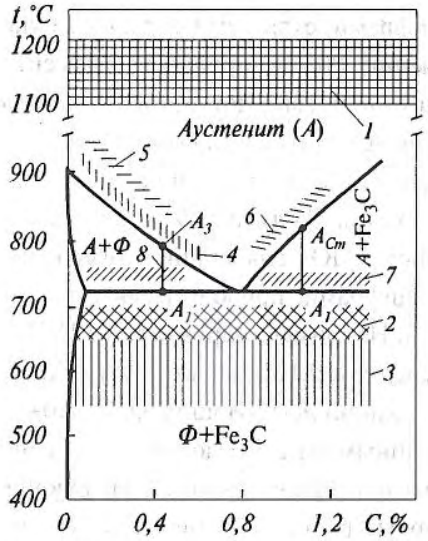


Рис.7.7. Температурные интервалы различных видов отжига:
1 - гомогенизация; *2* - низкотемпературный рекристаллизационный отжиг (высокий отпуск) для снижения твердости; *3* - отжиг (отпуск) для снятия напряжений; *4* - полный отжиг с фазовой перекристаллизацией; *5,6* - нормализация до- и заэвтектоидной стали; *7* - сфероидизация; *8* - неполный отжиг доэвтектоидной стали

Гомогенизации подвергают слитки легированной стали при 1100-1200°С в течение 15-20 ч для выравнивания химического состава, уменьшения дендритной и внутрикристаллической ликвации, вызывающей хрупкий излом при обработке стали давлением, анизотропию свойств, образование флокенов и крупнозернистой структуры.

Рекристаллизационный отжиг применяют для снятия наклепа деформированного металла путем нагрева его выше температуры порога рекристаллизации (0,4-0,5$T_{пл}$) выдержки при этой температуре и охлаждения. Различают холодную и горячую (теплую) деформации. Холодную проводят при температуре ниже порога рекристаллизации, а горячую - выше, обычно при 0,7-0,75$T_{пл}$ ($T_{пл}$) - температура плавления по абсолютной шкале температур). Рекристаллизация при холодном деформировании называется статической, а при горячем - динамической, характеризующейся остаточным "горячим наклепом", полезно используемым для закалки с прокатного нагрева. При статической рекристаллизации происходит резкое снижение σ_B, $\sigma_{0,2}$ и НВ наклепанного материала и повышение δ и ψ, что необходимо для холодной деформации (прокатки, штамповки, волочения).

Отжиг для снятия остаточных напряжений осуществляют при 550...650°С в течение нескольких часов. Он предотвращает коробление сварных изделий после резания, правки и т.д.

Нормализация предусматривает нагрев сортового проката из до- и заэвтектоидной конструкционной стали до температуры на 40...50°С выше точек A_{C3} и A_{cm}, непродолжительную выдержку и охлаждение на воздухе. Она вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали, снимает внутренние напряжения, повышает пластичность и ударную вязкость. Ускоренное охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах. Нормализация широко применяется для улучшения свойств низкоуглеродистых строительных сталей, заменяя отжиг. Для среднеуглеродистых и легированных сталей она сочетается с высоким отпуском при температурах ниже порога рекристаллизации.

Закалка и отпуск предусматривают улучшение прочностных и пластично-вязких свойств стали, снижение порога хладноломкости и чувствительности к концентраторам напряжений.

Закалка заключается в нагреве стали на 30...50°С выше точки A_{C3} для доэвтектоидных или A_{C1} для эаэвтектоидных сталей, выдержке до полной аустенизации стали и охлаждении ее со скоростью, обеспечивающей переход аустенита в мартенсит. Последний представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α-Fe. Перестройка кристаллической решетки γ-Fe в α-Fe происходит без выделения избыточных атомов углерода из аустенита. Поэтому кристаллическая решетка мартенсита сильно искажена и испытывает напряжения, обусловленные особенностями строения и увеличением удельного объема мартенсита по сравнению с аустенитом на 4...4,25%. Мартенсит хрупок, тверд и прочен (HPC 65, HV 960, σ_B = 1000 МПа при C ≤ 0,015% и σ_B = 2600-2700 МПа при С = 0,6-0,8%). Однако достаточно полное мартенситное превращение возможно только для высокоуглеродистых и легированных сталей, обладающих повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита. В низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных строительных сталях она мала и поэтому при закалке, даже при быстром охлаждении водой мартенсит либо не образуется, либо образуется в меньшем количестве в сочетании с бейнитом. При быстром охлаждении низкоуглеродистых строительных сталей (С ≤ 0,25%) (закалка с прокатного нагрева) происходит распад аустенита и образование высокодисперсной ферритно-цементитной структуры перлита-сорбита и

троостита или низкоуглеродистого мартенсита и цементита. Такая структура получила название - бейнит. Он имеет повышенную прочность, твердость и выносливость по сравнению с продуктами распада аустенита в перлитовой области - сорбитом и проститом, при сохранении высокой пластичности, вязкости и пониженном пороге хладоемкости. Упрочнение стали закалкой с прокатного нагрева обусловлено тем, что динамическая рекристаллизация при прокатном нагреве проходит неполно и бейнит унаследует высокую плотность дислокаций, образовавшихся в деформированном аустените. Сочетание пластической деформации стали в аустенитном состоянии с закалкой и отпуском позволяет значительно увеличить ее прочность (σ_B = 2200...3000 МПа), пластичность и вязкость (δ = 6...8%, ψ = 50...60%); устранить склонность к отпускной хрупкости, которая наблюдается при среднетемпературном отпуске легированной стали при 300...400°С.

О т п у с к является заключительной операцией термической обработки стали, после которой она приобретает требуемые свойства. Он заключается в нагреве закаленной стали до температуры ниже точки A_{C1}, выдержке при заданной температуре и охлаждении с определенной скоростью. Цель отпуска - снижение уровня внутренних напряжений и повышение сопротивления разрушению. Различают три его вида: низкотемпературный (низкий) с нагревом до 250°С; среднетемпературный (средний) с нагревом в интервале 350-500°С и высокотемпературный (высокий) с нагревом при 500-600°С.

С т а р е н и е углеродистой стали проявляется в изменении ее свойств во времени без заметного изменения микроструктуры. Повышаются прочность, порог хладноломкости, снижается пластичность и ударная вязкость. Известны два вида старения - термическое и деформационное (механическое). Первое протекает в результате изменения растворимости углерода и азота в α-Fe и выделения избыточных фаз (карбидов и нитридов) из феррита в зависимости от температуры. Скопление атомов С и N на дислокациях и выделение третичного цементита из пересыщенного твердого раствора феррита, ускоряемое повышенной температурой (50-150°С), и является причиной термического старения.

Деформационное (механическое) старение протекает после пластической деформации при температуре ниже порога рекристаллизации. Основной причиной этого вида старения является также скопление атомов С и N на дислокациях, затрудняющее их движение. С фактами возникновения отпускной хрупкости и старения стали строители сталкиваются при электротермическом способе натяжения арматуры в процессе изготовления преднапряженных железобетонных конструкций.

§ 8. Конструкционные строительные стали

Конструкционные стали, используемые в строительстве, по химическому составу относятся к низкоуглеродистым и низколегированным, а в равновесном состоянии - к доэвтектоидным. Кроме комплекса высоких механических свойств (σ_B, $\sigma_{0,2}$, δ, ψ, KCU, K_{1C}, НВ), определяемых при стандартных испытаниях, они должны иметь высокую конструктивную прочность, т.е. соответствовать служебным свойствам конкретных изделий и конструкций. К свойствам стали, определяющим надежность конструкций, относятся K_{1C}, KCU и температура порога хладноломкости, а долговечности - сопротивление усталости, коррозии и износу. Кроме того конструкционные стали должны легко обрабатываться давлением, резанием, хорошо свариваться, прокаливаться, иметь малую склонность к деформациям, короблению и трещинообразованию при закалке.

Углеродистые стали выпускают обыкновенного и повышенного качества, по степени раскисления, спокойные (сп), полуспокойные (пс) и кипящие (кп). Спокойные стали полностью раскислены и содержат минимальное количество FeO; кипящие нераскислены. Полуспокойные занимают промежуточное положение. Кипящие стали склонны с старению, хладноломкости, хуже свариваются, но пластичны.

Углеродистые стали обыкновенного качества в зависимости от гарантируемых свойств объединены в группы А, Б и В. Стали обозначают марками Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, добавляя спереди букву группы стали, а после - индекс раскисления, сп, пс, и кп, например, Ас3сп, ВСт4пс. По группе А стали поставляют с гарантированными механическими свойствами, по группе Б - химическими и по группе В - с теми и другими одновременно. С возрастанием номера стали

растет и содержание углерода в ней, повышаются σ_B, $\sigma_{0,2}$, НВ и снижаются δ, ψ, KCU, K_{1C} (рис. 7.8).

Сталь для строительных конструкций, учитывая вышеуказанные требования к ней, изготовляется по группе ВСт3сп (пс) и ВСт3Гпс. Она содержит обычно углерода 0,14-0,22%, марганца 0,4-0,65%, кремния 0,05-0,17% сп или 0,12-0,3% пс. Сталь марки ВСт3Гпс содержит марганца 0,8-1,1% и кремния до 0,15%.

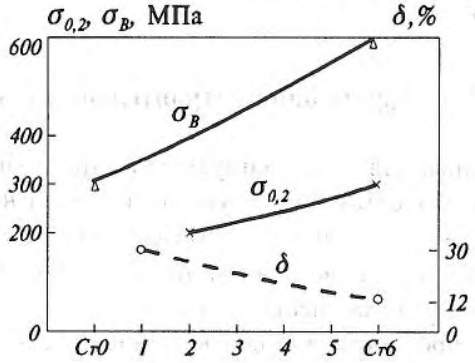


Рис. 7.8. Зависимость временного сопротивления σ_B, предела текучести $\sigma_{0,2}$ и относительного удлинения δ от марки углеродистой стали

По требованиям ударной вязкости в зависимости от температурных условий эксплуатации и назначения конструкций, углеродистые стали разделены на 6 категорий. Кипящая сталь изготовляется по 2-ой категории ВСт3кп2, полуспокойная - по 6-ой - ВСт3пс6, спокойная и полуспокойная с повышенным содержанием марганца - по 5-ой категории - ВСт3сп5 и ВСт3Гпс5. Категория стали, как видно из приведенных данных, указывается в конце марки и находит отражение в обозначении марок стали стержневой горячекатанной арматуры А-I (А-240), А-II (А-300)* и закладных деталей бетонных и железобетонных конструкций, рекомендуемых для различных условий эксплуатации и работы конструкций.

Стали повышенного качества получают путем легирования и термической обработки. В зависимости от нормируемых свойств они

* В новых ГОСТ 10884, 5781, СТО АСЧМ 7-93 классы стали обозначаются по нормируемому пределу текучести.

подразделяются на 15 категорий. Атмосферостойкие стали повышенной коррозионной стойкости выпускают легированными хромом, никелем, медью или большим количеством фосфора. Учитывая однако ухудшение свариваемости и хладостойкости сталей с фосфором, толщину проката ограничивают 16 мм, а при большей толщине применяют сталь 12ХГДАФ.

В конструкциях, совмещающих несущие и ограждающие функции (мембранные покрытия), применяют тонколистовой прокат из нержавеющей хромистой безуглеродистой стали без никеля - ОХ18Т1Ф2 (σ_B = 500 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 360 МПа, $\delta_5 \geq 33\%$); которая при толщине до 2 мм сохраняет пластические свойства при расчетных температурах до -40°С.

Рациональные марки сталей для строительных конструкций выбирают исходя из их вида, назначения, ответственности, режима и условий работы и эксплуатации. Все виды стальных строительных конструкций разделены на 4 г р у п п ы. Для каждой из них в табл. 7.1 приведены рекомендуемые марки стали. За нормативные сопротивления стали и алюминиевых сплавов принимают значения предела текучести $R_T^H = \sigma_T$ или временного сопротивления $R_B^H = \sigma_T$ (для сталей и сплавов высокой прочности при отсутствии площадки текучести) с обеспеченностью соответственно 0,95; 0,995. Расчетные сопротивления определяют делением нормативных сопротивлений на коэффициенты надежности по материалу, учитывающие отклонения от действительной работы металла в конструкциях и нормативного сопротивления.

К п е р в о й г р у п п е отнесены сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях динамического нагружения подкрановые балки, эстакады и др.). Для этих конструкций применяют высокопрочные низколегированные стали типа 18Г2АФпс, 12ГН2МФАЮ, а также ВСт3Гпс5, 09ГС12.

К о в т о р о й г р у п п е отнесены сварные конструкции, работающие в условиях статической нагрузки - фермы, ригели, рамы, балки перекрытий и покрытий и др. Для этих конструкций рекомендуются низкоуглеродистые и низколегированные стали повышенной и высокой прочности - ВСт3сп5, 09Г2С, 10ХСНД и др.

К т р е т ь е й г р у п п е отнесены сварные конструкции, работающие преимущественно на сжатие - колонны, стойки, опоры под оборудование и др. Для них могут использоваться наряду с вышеуказанными для второй группы низкоуглеродистые стали - 3Ст3кп2.

В четвертую группу включены вспомогательные конструкции и элементы (связи, фахверк, лестницы, ограждения и др.). Для них рекомендуются обычные низкоуглеродистые кипящие, полуспокойные и спокойные стали группы Вст3кп(пс, сп)2(5).

В табл. 7.1 приведены основные марки и механические характеристики строительных сталей для указанных групп конструкций.

Таблица 7.1

Марки и механические характеристики строительных сталей разных групп прочности

Группа прочности стали	Марка стали	σ_B, МПа / $\sigma_{0,2}$, МПа	δ,%	Ударная вязкость, МДж/м^2 при t^{0}C			
				+20 / -20	-40	-70	После механического старения
Обычной	ВСт3кп2; ВСт3пс6; ВСт3Гпс5; ВСт3сп5	365 -390 / 185-285	25-27	0,5-1 / 0,3-0,5			0,3-0,5
Повышенной	Вст3пс6; О9Г2С; 10Г2С1; 15ХСНД; О9Г2; 14Г2;14Г2АФ 10ХНДП; 10ХСНД	430-540 / 295-390	19-20		0,3--0,5	0,25-0,35	0,3
Высокой	16Г2АФ; 18Г2АФпс; 15Г2СФ; 12Г2СМФ; 12ГН2МФАЮ	св.590 / св.440	14-20		0,4--0,5	0,3--0,35	0,3

§ 9. Стальная арматура для железобетонных конструкций

Для армирования железобетонных конструкций применяют стержневую и проволочную арматуру гладкого и периодического профиля и канаты из низкоуглеродистых и низколегированных сталей, упрочненную закалкой с прокатного нагрева, холодной или теплой деформацией (основные классы арматурной стали приведены в гл. XIX).

Этим требованиям в большей мере удовлетворяет высокопрочная стержневая (А-1V - А-V1; Ат-1VС(К) - Ат-V1С(К) и др.), проволочная (В-II, Вр-II) и канатная (К-7, К-9) арматура с пределом текучести 590-1410 МПа и относительным удлинением 8-14% соответственно, используемая для изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. При этом, наряду с повышением прочности и трещиностойкости конструкций на 20-30%, сокращается расход арматурной стали по сравнению с ненапрягаемой А-I (А-240), А-II (А-300), А-III (А-400), Вр-I. Однако с точки зрения коррозионного поведения высокопрочная, особенно преднапряженная арматура, потенциально более уязвима. Коррозионное поведение арматуры в бетоне характеризуют главным образом изменением прочности, пластичности и характера ее излома, а также глубиной коррозионного поражения (мм/год) или потерей массы (г/м^{2}сут или г/м^2 ч). Пассивное состояние арматуры в бетоне, термодинамически склонной к реакциям окисления, обеспечивается высокощелочным характером среды (pH ≥ 12) и достаточно толстым (0,01-0,035 м) и плотным защитным слоем бетона. В соответствии с оксидно-пленочной теорией пассивное состояние арматуры в окислительной среде возникает вследствие образования на поверхности металла тонкой оксидной пленки γ-Fe_2O_3 или $FeO{\cdot}Fe_2O_3$ толщиной 2,5-10 нм. Равновесный потенциал образования такой пленки положителен и составляет примерно 0,63 В, а железа в активном состоянии около - 0,4 В. Как только поляризация анодных участков металла достигает потенциала образования оксидной пленки, плотность тока растворения резко снижается и металл переходит в пассивное состояние. Этот характерный потенциал называется Фладе-потенциалом и обозначается E_F. С увеличением pH он уменьшается:

$$E_F = 0{,}63 - 0{,}059\,pH. \qquad (7.6)$$

Пассивирование арматуры в бетоне при температуре 20±5°С завершается через 32-36 ч, причем не только с чистой поверхностью, но и имеющей ржавчину. Однако значение pH среды неоднозначно характеризует состояние арматуры в бетоне; оно во многом определяется присутствием активирующих ионов, особенно SO_4^{2-} и Cl^-, которые смещают потенциал растворения металла в отрицательную сторону; металл при этом переходит в активное состояние. Объективно судить о электрохимическом состоянии арматуры в бетоне можно только по ее поляризуемости, т.е. изменению электродного потенциала и плотности тока.

Не все бетоны характеризуются высоким значением pH среды. В автоклавных, гипсовых и с активными минеральными добавками бетонах с момента их изготовления pH < 12. В таких бетонах арматура требует защитного покрытия. Депассивация арматуры может возникать также в карбонизированном защитном слое бетона (где расположена арматура), особенно в местах трещин, что необходимо учитывать при назначении толщины и плотности защитного слоя в зависимости от вида, назначения, условий эксплуатации и срока службы железобетонных конструкций. Локализованные коррозионные поражения поверхности металла действуют аналогично концентраторам напряжений. У пластичных мягких сталей около очагов этих поражений происходит перераспределение напряжений, вследствие чего механические свойства сталей практически не меняются. У высокопрочных малопластичных сталей гладкого и периодического профиля, например, В-II и Вр-II, испытывающих растягивающие напряжения близкие к пределу текучести (и по этой причине хуже поддающихся анодной поляризации), местные коррозионные поражения вызывают большую концентрацию слабо релаксирующих напряжений и вероятность хрупкого разрушения стали. Поэтому высокопрочные арматурные стали. рекомендуемые для преднапряженных конструкций, как правило, сложнолегированные, прошедшие термическую и термомеханическую обработку, нормализацию и высокий отпуск, при 600-650°С. Они имеют мелкозернистую ферритно-цементитную структуру - сорбит отпуска, обеспечивающую повышенные значения σ_B, $\sigma_{0,2}$, δ, ψ, KCU, хладостойкость и малую чувствительность к концентраторам напряжений.

Введение в арматурные стали небольшого количества легирующих добавок Cr, Mn, Si, Cu, P, Al и других наряду с термической и

термомеханической обработкой, значительно улучшает механические и в 2-3 раза антикоррозионные свойства сталей.

§ 10. Чугун

Как указывалось выше, сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14%С. называют чугуном. Присутствие эвтектики в структуре чугуна обуславливает его использование исключительно в качестве литейного сплава. Углерод в чугуне может находиться в виде цементита и графита, либо в обоих видах одновременно. Цементит придает излому светлый цвет и характерный блеск; графит - серый цвет без блеска. Поэтому чугун, в котором весь углерод находится в виде цементита, называют б е л ы м, а в виде цементита и свободного графита - с е р ы м. В зависимости от формы графита и условий его образования различают: серый, высокопрочный с шаровидным графитом и ковкий чугуны. На фазовый состав и свойства чугуна решающее влияние оказывают содержание в нем углерода, кремния и других примесей (рис. 7.9) , а также режим охлаждения и отжига.

Б е л ы й ч у г у н имеет высокую твердость и прочность (НВ 4000-5000 Мпа), плохо обрабатывается резанием, хрупок. Используется в качестве передельного на сталь или ковкий чугун. О т б е л е н н ы й имеет в поверхностном слое структуру б е л о г о, а в сердцевине - серого чугуна, что придает изделиям из него повышенную износостойкость и выносливость. Примерный состав белого чугуна: C = 2,8-3,6%; Si = 0,5-0,8%; Mn = 0,4-0,6%.

С е р ы й ч у г у н представляет сплав Fe-Si-C, с неизбежными примесями Mn, P и S. Лучшими свойствами обладают доэвтектические чугуны, содержащие 2,4-3,8%С, часть которого, до 0,7% находится в виде цементита. Кремний способствует графитизации чугуна, марганец, наоборот, препятствует ей, но повышает склонность чугуна к отбеливанию. Сера является вредной примесью, ухудшающей механические и литейные свойства чугуна. Содержание ее ограничивают 0,1-0,12%. Фосфор в количестве 0,2-0,5% не влияет на графитизацию, увеличивает жидкотекучесть, но повышает хрупкость чугуна. Механические и пластические свойства чугуна определяются его структурой, главным образом графитной составляющей. Чем меньше графитных включений, чем они мельче, разветвленнее и больше изолированы друг от друга, тем прочнее и пластичнее чугун. Структура металлической основы чугуна - доэвтектоидная или эвтектоидная

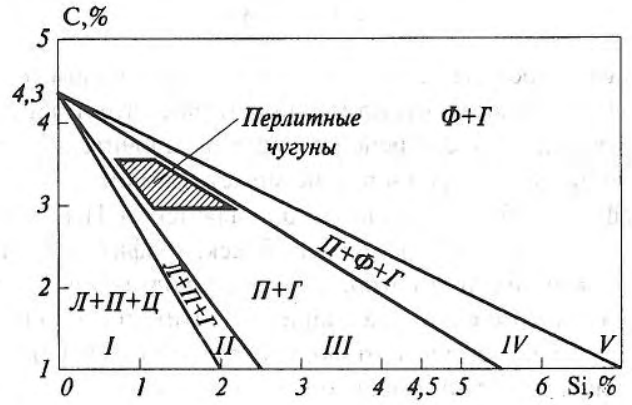


Рис. 7.9. Влияние содержания углерода и кремния на структуру чугуна (заштрихованная область - наиболее распространенные чугуны):
I - область белого чугуна; II - половинчатый чугун; III - перлитный серый чугун; IV- ферритно-перлитный чугун; V- ферритный серый чугун; Л - ледебурит; П - перлит; Ц - цементит; Г - графит; Ф - феррит

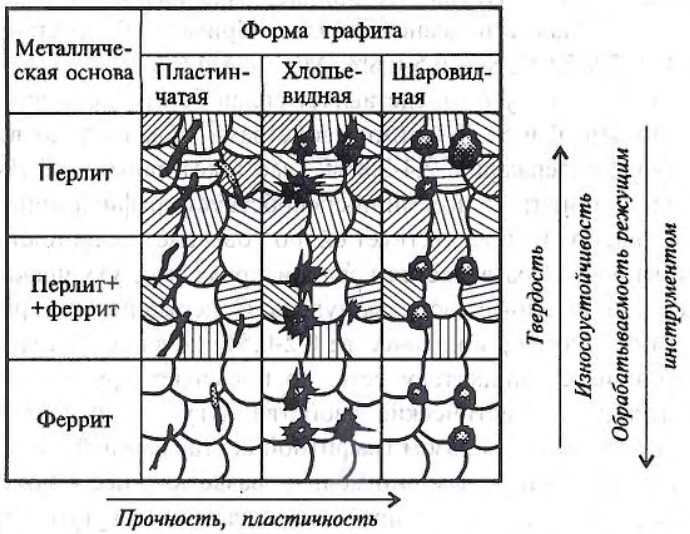


Рис. 7.10. Влияние металлической основы и формы графитных включений на механические и технологические свойства чугунов

сталь, т.е. феррит+перлит или перлит. Наибольшую прочность, твердость и износостойкость имеет серый чугун с перлитной структурой металлической основы примерного состава: C = 3,2-3,4%; Si - 1,4-2,2%; Mn = 0,7-1,0%; P, S ≤ 0,15-0,2%. На рис. 7.10 приведена схема влияния структуры чугуна на его прочность и пластичность, а в табл. 7.2 физико-механические свойства.

Графитные включения, резко снижая прочность серого чугуна на растяжение, практически не влияют на его прочность на сжатие, изгиб и твердость; делают малочувствительным к концентраторам напряжений, улучшают обрабатываемость резанием. Серый чугун маркируют буквами С - серый и Ч - чугун. Цифры после них указывают среднее значение прочности на растяжение (кг/мм^2). К перлитным чугунам относится модифицированный чугун марок СЧ30-СЧ35, содержащий добавки-модификаторы - графит, ферросилиций, силикокальций в количестве 0,3-0,8% и др. Для снятия внутренних напряжений отливки отжигают при 500-600°С с последующим медленным охлаждением.

Модифицирование и отжиг повышают пластичность, ударную вязкость и выносливость чугуна.

При введении в состав серого чугуна при его выплавке магния в количестве 0,03-0,07% графит в процессе кристаллизации приобретает шаровидную форму вместо пластинчатой. Такой чугун имеет высокую прочность, сравнимую с прочностью литой стали, хорошие литейные свойства и пластичность, обрабатываемость резанием и износостойкость. Марки высокопрочного чугуна обозначают буквами и цифрами. Последние означают временное сопротивление растяжению (кг/мм^2) и относительное удлинение (%).

Ковкий чугун получают длительным нагревом (отжигом) отливок из белого чугуна. Отжиг проводят в две стадии с выдержкой на каждой из них до полного распада ледебурита (I стадия), аустенита и цементита (II стадия) и образования феррита и графита. Последний выделяется при этом в виде хлопьев, придающих чугуну высокую пластичность. Излом его бархатисто-черный. Если охлаждение ускорить, то образуется ковкий чугун с перлитной основой, снижающей пластичность и придающей излому светлый (сталистый) вид. Маркируют его также, как и высокопрочный чугун (табл. 7.2, рис. 7.10). Термин "ковкий чугун" является условным и характеризует пластические, а не технологические свойства чугуна, так как изделия из него, как и из других чугунов, получают литьем, а не ковкой.

Таблица 7.2

Физико-механические свойства чугунов различной структуры

Наименование чугуна	Марка чугуна	Структура металлической основы	Форма графита	Твердость НВ, МПа	Временное сопротивление растяжению, МПа	Относительное удлинение, %
Серый	СЧ-10; СЧ-15	Ферритная и ферритно-перлитная	Крупные и средних размеров пластинки	1200–2400	100–150	–
	СЧ-18; СЧ-21; СЧ-24; СЧ-25; СЧ-30; СЧ-40	Перлитная (сорбитовая)	Мелкие завихренные пластинки	2550–2900	180–400	–
Высокопрочный	ВЧ35-22;	Ферритная и ферритно-перлитная	Шаровидная	1400–1700;	350	22
	ВЧ40-15;			1400–2020;	420	15
	ВЧ45-10			1400–2250;	450	10
	ВЧ50-8;	Перлитная	Шаровидная	1530–2450;	500	8
	ВЧ60-3;			1920–2770;	600	3
	ВЧ70-2;			2280–3020;	700	2
	ВЧ80-2;			2480–3510;	800	2
	ВЧ100-2			2700–3600	1000	2
Ковкий	КЧ30-6;	Ферритная	Хлопьевидная	1630	300	6
	КЧ33-8;				330	8
	КЧ35-10;				350	10
	КЧ37-12				370	12
	КЧ50-4;	Перлитная	Хлопьевидная	2410–2690	500	4
	КЧ56-4;				560	4
	КЧ60-3;				600	3
	КЧ63-2				630	2

В строительстве находят применение все виды рассмотренных чугунов с графитным включением. Серые чугуны используются в конструкциях, работающих на статическую нагрузку (колонны, фундаментные плиты, опорные плиты под фермы, балки, канализационные трубы, люки, задвижки); высокопрочные и ковкие чугуны, обладающие повышенной прочностью, пластичностью и вязкостью, используют в конструкциях, подвергающихся динамической и вибрационной нагрузке и износу (полы промзданий, фундаменты тяжелого кузнечно-прессового оборудования, подферменные опоры железнодорожных и автодорожных мостов, тюбинги для крепления ответственных транспортных тоннелей под землей, в горах).

§ 11. Цветные металлы

Из цветных металлов наибольшее применение в строительстве имеет алюминий, обладающий высокой удельной прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью и экономической эффективностью. Серебро, золото, медь, цинк, титан, магний, олово, свинец и другие используются главным образом как легирующие добавки и компоненты сплавов и имеют поэтому специальное и ограниченное применение в строительстве (специальные виды стекла, уникальные объекты - мемориалы на Мамаевом кургане в Волгограде, на Поклонной горе, обелиск в честь покорения космоса в Москве и другие, в которых большое применение нашли титан, медь, и их сплавы; запорно-регулировочная арматура и устройства водопроводно-отопительных, электротехнических систем зданий и сооружений).

В чистом виде цветные металлы, как и железо, вследствие их малой прочности и твердости, применяются редко.

А л ю м и н и й - металл серебристо-белого цвета, плотностью 2700 кг/м^3 и температурой плавления 658°С. Кристаллическая решетка его - гранецентрированный куб с периодом 0,40412 нм. Реальные зерна алюминия, как и зерна железа, имеют блочное строение и аналогичные дефекты - вакансии, межузельные атомы, дислокации, мало- и большеугловые границы между зернами. Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты: σ_B = 50 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 15 МПа; δ = 50%, а технического алюминия (АДМ): σ_B = 80 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 30 МПа; δ = 35%. Технический алюминий вследствие малой прочности в строительных конструкциях применяется редко. Повышение

прочности достигается легированием Mg, Mn, Cu, Si, Al, Zn, а также пластическим деформированием (нагартовкой), закалкой и старением. Все сплавы алюминия делятся на деформируемые и литейные. Деформируемые сплавы в свою очередь подразделяются на *термически упрочняемые* и *неупрочняемые*. К термически упрочняемым относятся сплавы Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg; термически неупрочняемым - технический алюминий и двухкомпонентные сплавы Al-Mn и Al-Mg (магналии). Медь - основная легирующая добавка сплавов - дуралюминов, повышает прочность, но снижает пластичность и антикоррозионные свойства алюминия. Марганец и магний повышают прочность и антикоррозионные свойства; кремний - жидкотекучесть и легкоплавкость, но ухудшает пластичность. Цинк, особенно с магнием, увеличивает прочность, но уменьшает стойкость к коррозии под напряжением. Для улучшения свойств алюминиевых сплавов в них вводят небольшое количество хрома, ванадия, титана, циркония и других элементов. Железо (0,3-0,7%) является нежелательной, но неизбежной примесью. Соотношение компонентов в сплавах подбирается исходя из условий достижения ими после термической обработки и старения высокой прочности, обрабатываемости и коррозионной стойкости. Сплавы обозначаются марками, которые имеют буквенное и цифровое обозначение, характеризующее состав и состояние сплава: М - отожженный (мягкий); Н - нагартованный; Н2 - полунагартованный; Т - закаленный и естественно состаренный; Т1 - закаленный и искусственно состаренный; Т4 - не полностью закаленный и искусственно состаренный. Нагартовка и полунагартовка характерны для термически неупрочняемых сплавов; закалка и старение для термически упрочняемых.

Марки технического алюминия: АД, АД1 (А - алюминий, Д - сплав типа дуралюмина, 1 - характеризует степень чистоты алюминия - 99,3%; в марке АД - 98,8 Al); высокопрочного - В95, В96, ковочного - АК6, АК8 (цифры обозначают суммарное содержание основных и дополнительных легирующих элементов в сплаве (%).

Марки термически неупрочняемых алюминиевых сплавов: АДІМ, АМцМ, АМг2М, АМг2Н2 (М - мягкий, Мц - марганец, Мг2 - магний при содержании в сплаве 2%).

Цифровое обозначение марок алюминиевых сплавов: 1915, 1915Т, 1925, 1935Т (первая цифра обозначает основу сплава - алюминий; вторая - композицию компонентов; 0 - технически чистый алюминий, 1 - Al-Cu-Mg, 3 - Al-Mg-Si, 4 - Al-Mn, 5- Al- Mg, 9 - Al-Mg-Zn; две последние - порядковый номер сплава в своей группе.

Основными видами термической обработки алюминиевых сплавов является отжиг, закалка и старение (отпуск). Отжиг происходит без фазовых превращений и применяется для снятия остаточных напряжении, гомогенизации, рекристаллизации и возврата. В последнем случае происходит восстановление начальных физических и механических свойств сплава, снижение прочности, повышение пластичности и ударной вязкости, необходимые для технологических целей.

Медь в чистом виде имеет небольшую прочность и высокую пластичность: σ_B = 200-250 МПа, δ = 30-35% (после прокатки и отжига). Температура ее плавления 1083°С. Она плохо обрабатывается резанием, но хорошо деформируется в холодном и горячем состояниях. Широко распространены сплавы меди - латуни и бронзы.

Латунь - сплав меди с цинком. Предельная растворимость цинка в меди - 39%. Такой сплав представляет собой твердый раствор цинка в меди (α-фаза). При содержании цинка до 45% возникает вторая - β-фаза. Двухфазные латуни более прочны и тверды, чем однофазные, но малопластичны. Марки латуней обозначают буквой Л и цифрами, указывающими содержание меди в процентах. Механические свойства одно- и двухфазных латуней: α - латуни (Л96) (томпак), Л80 (полутомпак) и Л70 - σ_B = 240-320 МПа, δ = 50-52%; α+β' - латуни - σ_B = 360-390 МПа, δ = 44-49% (томпак в пер. с фр. - медь). Для улучшения свойств латуни подвергают холодному и горячему деформированию, рекристаллизационному отжигу при 500-700°С (α - латуни) и легированию добавками Sn, Si, Mn, Al, Fe, Pb, повышающими прочность, коррозионную стойкость и антифрикционные свойства. Специальные латуни маркируют: ЛА77-2 (латунь, содержащая 77% Cu, 2% Al и 21% Zn). ЛАЖ60-1-1 (латунь, содержащая 60% Cu, 1% Al, 1% Fe и 38% Zn). Они представляют собой однородные твердые растворы и поэтому весьма пластичны.

Б р о н з ы - это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием и другими элементами.

О л о в я н и с т ы е бронзы представляют твердый раствор 4-5% олова в меди (α-фаза). При бо'льшем содержании олова пластичность и литейные свойства бронзы резко снижаются. Перед обработкой давлением их подвергают рекристаллизационному отжигу при 600-650°С. Для улучшения литейных свойств и повышения прочности в бронзу вводят до 1% фосфора. Бронзы, обрабатываемые давлением, имеют σ_B = 350-400 МПа, δ = 40-70% (после отжига) и $\sigma_{0,2}$ = 550-800 МПа, δ = 4-12% (после холодной деформации); бронзы для фасонного литья - σ_B = 150-180 МПа, δ = 6-8%.

А л ю м и н и е в ы е и к р е м н и с т ы е бронзы имеют механические свойства, аналогичные оловянистым бронзам, но более дешевые и стойкие в агрессивных средах. В промышленности используют только однофазные бронзы, обладающие высокими пластичными и литейными свойствами.

Б е р и л л и е в ы е б р о н з ы содержат 2-2,5% Be и обладают наилучшими свойствами из всех известных бронз. После закалки при 760-780°С и старении при 300-350°С механические свойства ее составляют: σ_B = 1300-1350 МПа, δ = 1,5%, НВ 4000.

С в и н ц о в ы е б р о н з ы содержат до 30% Pb и не образуют твердых растворов свинца в меди. Они склонны, как и оловянистые бронзы, к ликвации, имеют невысокую прочность (σ_B = 60 МПа), пластичность (δ = 4%) и хорошие антифрикционные свойства. Маркируют все бронзы аналогично латуням. Например, БрОЦСН3-7-5-1 - оловянистая бронза, содержит 3% Sn, 7% Zn, 5% Pb, 1% Ni и 84% Cu; БрАЖН10-4-4 - алюминиевая бронза, содержит 10% Al, 4% Fe, 4% Ni и 82% Cu.

Т и т а н - металл серебристо-белого цвета, плавится при 1665±5°С. Существует в двух модификациях: α-титан до 882°С (плотность 4505 кг/м^3) кристаллизующийся в гексагональной решетке и β-титан при температуре 900°С и более (плотность 4320 кг/м^3), кристаллизующийся в объемно-центрированной кубической решетке с периодом 0,33132 нм. На поверхности титана легко образуется прочная оксидная пленка, защищающая его от коррозии во всех средах, кавитационной коррозии и коррозии под напряжением.

Технический титан марок ВТ1-00, ВТ1-0 и ВТ1-1 имеет невысокую прочность, пластичен (σ_B = 300-350 МПа, δ = 20-30%), хорошо обрабатывается давлением и сваривается. Примеси N, C, O и H ухудшают антикоррозионные свойства, пластичность и свариваемость титана; охрупчивают (особенно водород) и повышают его прочность и твердость. Для улучшения механических и технологических свойств титана его легируют добавками Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zn, Si. Различают α-сплавы и α+β-сплавы титана. Первые представляют собой твердый раствор легирующих элементов (Al - основной, Sn, Zn и Mo, Fe, Cr) в α-титане. Они не упрочняются термообработкой и подвергаются только рекристаллизационному отжигу при 780-850°С. α+β-сплавы состоят из α- и β твердых растворов и содержат кроме Al 2-4% Cr, Mo, Fe (стабилизаторов β-титана), α+β-сплавы упрочняются закалкой и старением. При закалке происходит мартенситное превращение и образуется пересыщенный твердый раствор легирующих элементов в α-титане. При старении происходит распад мартенситных фаз и остаточной β-фазы, сопровождающийся упрочнением сплава. Наиболее распространенные α-сплавы, ВТ5, ВТ5-1, ОТ4 имеют следующие показатели: σ_B = 700-950 МПа, δ = 12-25%, KCU = 0,4-0,9 мДж/м^2; α+β-сплавы ВТ6, ВТ8, ВТ14 - σ_B = 950-1400 МПа, δ = 8-15%, KCU = 0,3-0,8 МДж/м^2. Они хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии, свариваются и противостоят коррозии.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими характерными свойствами обладают металлы, как материал для строительных конструкций и оборудования?
2. Какие дефекты строения характерны для металлов и как они влияют на их физико-механические свойства?
3. Какими показателями характеризуются свойства металла и как они определяются?
4. Какие основные фазы различают в структуре железо-углеродистых сплавов, условия их существования и превращения?
5. Что такое сталь и чугун? Основные их виды.
6. Каково назначение легирующих элементов, вводимых в железо-углеродистые сплавы? Их виды, содержание.
7. Какие из цветных металлов имеют наибольшее применение в строительстве и каковы их свойства?

Дополнительная литература

1. *Лахтин Ю.М.* Металловедение и термическая обработка металлов. - М.: Металлургия, 1984.

2. *Артемьев И.Н.* Алюминий в строительстве. - Л.: Стройиздат, 1985.

3. *Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г.* Материаловедение. М.: Металлургия, 1983.

4. Материаловедение / Под общ. ред. Б.Н.Арзамасова. М.: Машиностроение, 1986.

Глава VIII. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 1. Общие сведения

Неорганическими вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердевать в результате физико-химических процессов. Переходя из тестообразного в камневидное состояние, вяжущее вещество скрепляет между собой камни либо зерна песка, гравия, щебня. Это свойство вяжущих используют для изготовления: бетонов, силикатного кирпича, асбоцементных и других необожженных искусственных материалов; строительных растворов - кладочных, штукатурных и специальных.

Неорганические вяжущие вещества делят на воздушные и гидравлические.

Воздушные вяжущие способны затвердевать и длительное время сохранять прочность только на воздухе. По химическому составу они делятся на четыре группы: *гипсовые вяжущие*, основой которых является сернокислый кальций; *магнезиальное вяжущее,* содержащее каустический магнезит MgO; *жидкое стекло* - силикат натрия или калия (в виде водного раствора); *известковые вяжущие*, состоящие главным образом из оксида кальция CaO.

Гидравлические вяжущие твердеют и длительное время сохраняют прочность (или даже повышают ее) не только на воздухе, но и в воде. По своему химическому составу гидравлические вяжущие вещества представляют собой сложную систему, состоящую в основном из соединений четырех видов: $CaO\text{-}SiO_2\text{-}Al_2O_3\text{-}Fe_2O_3$. Эти соединения образуют три основные группы гидравлических вяжущих: силикатные цементы, состоящие преимущественно (на 75%) из силикатов кальция; к ним относятся портландцемент и его разновидности - главные вяжущие современного строительства; алюминатные цементы, вяжущей основой которых являются алюминаты; главным из них является глиноземистый цемент и его разновидности; гидравлическая известь и романцемент.

В отдельную группу выделяют **вяжущие автоклавного твердения** - это вещества, способные при автоклавном синтезе, происходящем в среде насыщенного водяного пара, затвердевать с образованием плотного, прочного камня. В эту группу входят: известково-кремнеземистые, известково-зольные, известково-шлаковые вяжущие, нефеленовый цемент и др., хотя по существу они тоже относятся к гидравлическим вяжущим.

§ 2. Воздушные вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества - это воздушные вяжущие, состоящие в основном из полуводного гипса или ангидрида и получаемые тепловой обработкой сырья и помолом.

Сырье для получения гипсовых вяжущих чаще всего служит горная порода гипс, состоящая преимущественно из минерала гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Используют и ангидрит $CaSO_4$, отходы промышленности (фосфогипс - от переработки природных фосфатов в суперфосфат, борогипс и др.).

Гипсовые вяжущие вещества подразделяются в зависимости от температуры тепловой обработки на две группы: низкообжиговые и высокообжиговые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой природного гипса при низких температурах (110-180°C). Они состоят в основном из полуводного гипса, так как дегидратация сырья при указанных температурах приводит к превращению двуводного гипса в полугидрат

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O = CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O.$$

К низкообжиговым гипсовым вяжущим веществам относятся: строительный, формовочный и высокопрочный гипс.

Строительный гипс изготовляют низкотемпературным обжигом гипсовой породы (гипсового камня) в варочных котлах или печах. В первом случае гипсовый камень сначала размалывают, а потом в виде порошка нагревают в котлах. Имеются промышленные установки, в которых совмещены помол и обжиг. При обжиге в незамкнутом пространстве вода выделяется и удаляется в виде пара.

Строительный гипс состоит в основном из кристаллов β - модификации $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, содержит также некоторое количество ангидрида ($CaSO_4$) и частицы неразложившегося сырья $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. По срокам схватывания гипсовые вяжущие делят на три группы: А - быстросхватывающиеся (2-15 мин), Б - нормально схватывающиеся (6-30 мин) и В - медленно схватывающиеся (начало схватывания не ранее 20 мин). Прочность при сжатии составляет 10-12 МПа.

Высокопрочный гипс получают термической обработкой высокосортного гипсового камня в герметичных аппаратах под давлением пара. Он состоит в основном из α-модификации полуводного сульфата кальция, более активной, чем β-модификации. Поэтому прочность высокопрочного гипса при сжатии 15-25 МПа, а при специальной технологии производства - до 60 МПа превышает прочность строительного гипса. Из него изготавливают элементы стен и сборных перегородок, камни для стен.

Формовочный гипс состоит в основном из модификации полугидрата. Он содержит незначительное количество примесей и тонко размалывается. Применяют в керамической и фосфоро-фаянсовой промышленности для изготовления форм.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества изготовляют путем обжига гипсового камня при высоких температурах 600-900°С, поэтому они состоят преимущественно из ангидрита $CaSO_4$, который частично подвергается термической диссоциации с образованием CaO. Небольшое количество оксида кальция в составе вяжущего играет роль активизатора вяжущего с водой. Можно получить ангидритовое вяжущее и без обжига помолом природного ангидрита с активизаторами твердения (известью, обоженным доломитом и т.п.).

Высокообжиговый гипс (в отличие от строительного гипса) медленно схватывается и твердеет, но его водостойкость и прочность при сжатии выше - 10-20 МПа. Поэтому его применяют при устройстве

бесшовных полов, в растворах для штукатурки и кладки, для изготовления "искусственного мрамора".

Для гипсовых вяжущих стандартом установлено 12 марок по пределу прочности при сжатии (МПа): Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25. При этом минимальный предел прочности при изгибе для каждой марки должен соответствовать значению соответственно от 1,2 до 8 МПа.

Твердение и применение гипсовых вяжущих веществ

При твердении строительного гипса происходит химическая реакция присоединения воды и образования двуводного сульфата кальция:

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O.$$

При гидратации 1 кг полугидрата выделяется 133 кДж тепла.

Поскольку растворимость полугидрата в воде 8 г/л (считая на $CaSO_4$), а двугидрата - 2 г/л, то вскоре после затворения строительного гипса водой создаются условия для образования в пересыщенном растворе зародышей кристаллов двугидрата. Схватывание (загустевание) гипсового теста начинается с образования рыхлой пространственной коагуляционной структуры, в которой кристаллики двугидрата связаны слабыми ван-дер-ваальсовыми силами молекулярного сцепления. После схватывания происходит твердение, обусловленное ростом кристаллов новой фазы, их срастанием и образованием кристаллизационной структуры. Свежеизготовленные гипсовые изделия сушат (при температуре 60-70°С), что повышает прочность контактов срастания кристаллов и самих изделий вследствие удаления пленочной воды. Можно обойтись и без сушки, если уменьшить количество воды затворения за счет введения в гипсовые растворы и бетоны пластифицирующих добавок и применения интенсивного уплотнения.

Гипсовые вяжущие применяют для изготовления гипсовых деталей и гипсобетонных изделий - перегородочных панелей, сухой штукатурки и т.п., а также для приготовления штукатурных растворов (внутренней штукатурки) и получения гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ).В России получили известность пазогребневые гипсовые плиты для перегородок фирмы "Кнауф" (Германия) размером 900х300х80 мм. Для эксплуатации в помещениях свыше 60% применяют гидрофобизированные плиты.

В процессе твердения гипсовый раствор немного увеличивается в объеме (до 1%), что благоприятствует изготовлению архитектурных деталей способом литья.

Воздушная известь

Известь (как и гипс) - древнейшее вяжущее вещество. Ее применяли за несколько тысяч лет до нашей эры.

Воздушная известь - продукт умеренного обжига кальциево-магниевых карбонатных горных пород: мела, известняка, доломитизированного известняка, доломита с содержанием глины не более 6%.

Основной составляющей известняка является карбонат кальция ($CaCO_3$). Обжигают известняк при температуре 900-1200°С до возможно более полного удаления CO_2 по реакции:

$$CaCO_3 = CaO + CO_2.$$

Продукт обжига содержит кроме CaO (основной составной части) также и некоторое количество оксида магния, образовавшегося в результате термической диссоциации карбоната магния:

$$MgCO_3 = MgO + CO_2.$$

Чем выше содержание основных оксидов (CaO + MgO) в извести, тем пластичнее известковое тесто и тем выше ее сорт. Содержание непогасившихся частиц, к которым относятся частицы недожога и пережога, снижает качество извести. Недожогом называют оставшиеся зерна сырья - известняка, которые отощают известковое тесто, ухудшают его пластичность и пескоемкость. Пережог представляет собой остеклованный трудногасящийся оксид кальция, уплотненный при высокой температуре. Частицы пережога гидратируются очень медленно с увеличением своего объема, что может вызвать растрескивание штукатурки, известковых изделий.

Обжиг известняка чаще всего производят в шахтных печах, в которые известняк поступает в виде кусков размером 8-20 см (рис. 8.1), обжиг мелких кусков известняка может производиться во вращающихся печах. При обжиге известняка удаляется углекислый газ, составляющий 44% от массы $CaCO_3$, поэтому комовая негашеная известь получается в виде пористых кусков, активно взаимодействующих с водой.

Гашение воздушной извести заключается в гидратации оксида кальция при действии воды на комовую негашеную известь:

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2.$$

Гашение сопровождается разогревом массы вследствие выделения значительного количества тепла - 950 кДж/кг. В процессе гашения куски негашеной извести самопроизвольно диспергируются, распадаясь на тонкие частицы $Ca(OH)_2$ размером в несколько микронов (тоньше, чем у цемента). Воздушная известь является единственным вяжущим веществом, которое превращается в тонкодисперсное состояние химическим диспергированием. Громадная удельная поверхность частиц $Ca(OH)_2$ обуславливает большую водоудерживающую способность и пластичность известкового теста. После отстаивания известковое тесто содержит около 50% твердых частиц $Ca(OH)_2$ и 50% воды. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль своеобразной гидродинамической смазки. Высокая пластичность известкового теста в смеси с песком - это свойство, которое так ценится при изготовлении строительных растворов.

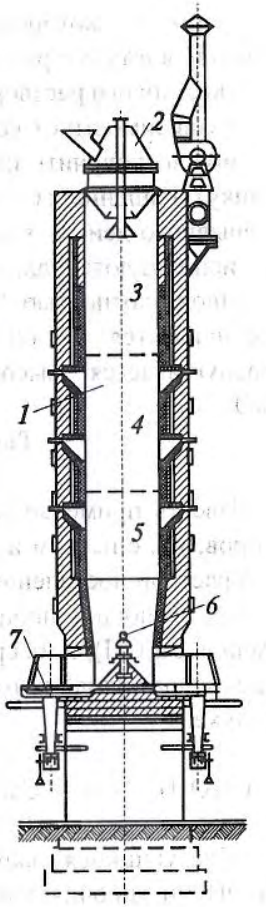


Рис. 8.1. Шахтная печь: 1 -шахта печи; 2 - загрузочный механизм; 3-зона. подогрева; 4 - зона обжига; 5 - зона охлаждения; 6 - гребень; 7 - разгрузочный механизм

Гашение комовой извести в тесто на специализированных растворных заводах производят в известегасильных машинах.

Механизированное гашение ускоряет процесс, повышает качество известкового теста. На небольших стройках комовую известь сначала гасят в творилах, и известковое тесто через сетку сливают в известегасильную яму, в которой завершается гашение. Известковое тесто выдерживают в яме не менее двух недель. Нельзя применять извест-

ковое тесто, в котором осталась непогасившаяся известь, так как ее гашение в штукатурке и кладке вызовет растрескивание затвердевшего известкового раствора.

В зависимости от количества воды, добавляемой к комовой извести, можно получить известковое тесто или гидратную известь (пушонку). Гашение извести в пушонку осуществляют в гидраторах непрерывного действия, в которых выделяющееся тепло и водяные пары используются для превращения комовой извести в тончайший порошок плотностью 400-450 кг/м^3. При гашении в пушонку известь увеличивается в объеме в 2-3,5 раза; в большей степени "распушивается" высокоактивная известь с высоким содержанием CaO.

Твердение гашеной извести

Известь применяется на строительстве в виде строительных растворов, т.е. с песком и другими заполнителями. На воздухе известковый раствор постепенно отвердевает под влиянием двух одновременно протекающих процессов: высыхание раствора, сближение кристаллов $Ca(OH)_2$ и их срастание; карбонизация извести под действием углекислого газа, который в небольшом количестве содержится в воздухе:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

Образующийся карбонат кальция срастается с кристаллами $Ca(OH)_2$ и упрочняет известковый раствор. При карбонизации выделяется вода, поэтому штукатурку и стены, в которых применены известковые растворы, подвергают сушке. Известковые растворы твердеют медленно, сушка ускоряет процесс их твердения.

Молотая негашеная известь

Молодую негашеную известь получают путем тонкого размола комовой извести без предварительного гашения. Строительные растворы и бетоны, приготовленные на молотой негашеной извести, быстро схватываются и отвердевают вследствие гидратационного твердения негашеной извести. При правильно подобранном водоизвестковом отношении (0,9-1,5) кристаллы гидроксида кальция, получившиеся при гидратации оксида кальция непосредственно в материале ($CaO \cdot H_2O$), срастаются между собой и быстро образуют прочный кристаллический сросток. Саморазогревание материала (раствора или бетона) со своей стороны способствует ускорению твердения и росту прочности раствора, что особенно важно при зимних работах (каменной кладке, штукатурке и др.).

Во избежание чрезмерного разогрева нужно позаботиться об отводе излишнего экзотермического тепла. При этом никаких трещин от гашения извести не образуется, а воздушная известь ведет себя как быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество.

В молотую негашеную известь и гидратную известь (пушонку) разрешается вводить тонкомолотые минеральные добавки: доменные и топливные шлаки, золы, известняк. Продукт совместного помола негашеной извести и карбонатной породы называют карбонатной известью. Молотую негашеную известь обычно используют сразу после помола, так как вследствие поглощения влаги из воздуха она теряет свои вяжущие свойства.

Виды и применение воздушной извести

В зависимости от содержания оксида магния воздушная известь разделяется на кальциевую (MgO ≤ 5%), магнезиальную (MgO = 5-20%) и высокомагнезиальную или доломитовую (MgO = 20-40%).

Наиболее важными показателями качества извести являются: *активность* - процентное содержание оксидов, способных гаситься, количество непогасившихся зерен (недожог и пережог); *время гашения.*

В зависимости от времени гашения извести всех сортов различают: быстрогасящуюся известь с временем гашения до 8 мин, среднегасящуюся - ее время гашения не превышает 25 мин и медленногасящуюся с временем гашения не менее 25 мин.

Строительные растворы на воздушной извести имеют невысокую прочность. Так, известковые растворы через 28 суток воздушного твердения имеют предел прочности при сжатии: на гашеной извести - 0,4-1,0 МПа, на молотой негашеной извести - до 5 МПа. Поэтому сорт воздушной извести устанавливают не по прочности, а по характеристикам ее состава. Чем меньше глинистых и других примесей в исходном известняке, тем выше активность извести, быстрее происходит ее гашение и больше выход известкового теста.

Большое количество извести идет на изготовление силикатного кирпича и силикатных бетонов: ячеистых, легких, тяжелых, а также используется в смешанных вяжущих.

Известково-шлаковые и известково-пуццолановые вяжущие

Получение известково-шлаковых вяжущих основано на способности тонкоизмельченных гранулированных доменных шлаков твердеть при добавке извести. Обычно шлак размалывают совместно с воздушной известью, содержание которой в вяжущем составляет 20-30%. При помоле добавляют до 3-5% гипса для улучшения процессов твердения. Известь, реагируя с низкоосновными алюминатами и силикатами шлака, способствует образованию высокоосновных гидроалюминатов и гидросиликатов кальция. Добавляемый гипс реагирует в водном растворе с алюминатами кальция, образуя гидросульфоалюминат кальция. В результате обоих этих процессов возрастает прочность вяжущего.

Известково-шлаковые вяжущие схватываются и твердеют медленно, но при тепловлажностной обработке твердение ускоряется. Они стойки в пресной воде, но имеют низкую морозостойкость. Известково-шлаковые вяжущие применяют в бетонах невысоких марок и в строительных растворах.

Известково-пуццолановые вяжущие изготовляют путем совместного помола трепелов, диатомитов и других активных минеральных добавок с известью. При твердении во влажных условиях или в воде образуются низкоосновные гидросиликаты кальция. На воздухе в сухих условиях гидросиликаты способны дегидратироваться, при этом прочность изделия может сильно снижаться. Прочность этих вяжущих невысока, и они применяются там же, где и известково-шлаковые вяжущие.

Магнезиальные вяжущие вещества

Магнезиальные вяжущие вещества - каустический магнезит и каустический доломит - тонкие порошки, главной основной частью которых является оксид магния. Магнезиальное вяжущее получают путем умеренного обжига (при температуре 750-850°С) магнезита (реже доломита):

$$MgCO_3 = MgO + CO_2.$$

Магнезиальное вяжущее чаще всего затворяют водным раствором хлористого магния (или других магнезиальных солей). Это ускоряет твердение и значительно повышает прочность, так как наряду с гидратацией оксида магния происходит образование гидрохлорида магния $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. При затворении же водой оксид магния гидратируется очень медленно.

Магнезиальное вяжущее относят к воздушным вяжущим веществам. Оно отличается высокой прочностью, достигающей при сжатии 600-1000 кгс/см^2 (60-100 МПа), хорошо сцепляется с деревом, поэтому его можно применять для изготовления фибролита и магнезиально-опилочных (ксилолитовых) полов - монолитных и плиточных.

Жидкое стекло и кислотоупорный кварцевый цемент

Жидкое стекло представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия или силиката калия, имеющий желтый или коричневый цвет, плотность 1,3-1,5 г/см^3 при содержании воды 50-70%.

Состав щелочных силикатов выражается формулой $R_2O \cdot mSiO_2$, где R - это Na или K; m - модуль жидкого стекла: у натриевого стекла m = 2,5-3, у калиевого m = 3-4. Это стекло варят из кварцевого песка и соды в стеклоплавильных печах, как обычное стекло, и когда расплав застывает, образуются твердые прозрачные куски. Жидкое стекло получают, растворяя раздробленные куски в воде при повышенной температуре и давлении 0,6-0,7 МПа.

Натриевое жидкое стекло применяют для изготовления кислотоупорных и жароупорных бетонов, для уплотнения грунтов. Калиевое стекло, более дорогое, применяют преимущественно в силикатных красках.

Силикаты натрия и калия в воде подвергаются гидролизу:

$$Na_2SiO_3 + 3H_2O = 2NaOH + SiO_2 \cdot 2H_2O.$$

Выделяющийся гель кремневой кислоты $SiO_2 \cdot 2H_2O$ обладает вяжущими свойствами, а водный раствор имеет щелочную реакцию. Для ускорения твердения жидкого стекла к нему добавляют кремнефтористый натрий Na_2SiF_6, ускоряющий выпадение геля кремневой кислоты и гидролиз жидкого стекла.

Кислотоупорный кварцевый цемент - это порошкообразный материал, получаемый путем совместного помола чистого кварцевого песка и кремнефтористого натрия (возможно смешение раздельно измельченных компонентов). Кварцевый песок можно заменить в кислотоупорном цементе порошком бештаунита или андезита. Ки-

слотоупорный цемент затворяют водным раствором жидкого стекла, которое и является вяжущим веществом. Сам же порошок вяжущими свойствами не обладает.

Кислотоупорный цемент применяют для изготовления кислотостойких растворов и бетонов, замазок. При этом берут кислотостойкие заполнители: кварцевый песок, гранит, андезит и т.п.

§ 3. Гидравлические вяжущие вещества

К вяжущим данной системы принадлежат гидравлическая известь, романцемент, портландцемент и его разновидности. Свойства указанных вяжущих веществ зависят от гидравлического модуля и температуры обжига сырья. Гидравлический модуль m выражает содержание основного оксида CaO по отношению к суммарному количеству кислотных оксидов:

$$m = \frac{\%CaO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}.$$

Для каждого вяжущего вещества характерен свой гидравлический модуль. Поскольку воздушная известь изготовляется из известняков лишь с небольшой примесью глинистого вещества, у нее самый большой гидравлический модуль (более 9), у гидравлической извести m = 1,7-9; у романцемента m < 1,7. Портландцемент, получаемый из тщательно составленной искусственной смеси известнякового и глинистого компонента, характеризуется гидравлическим модулем (1,9-2,4) примерно таким же, как у романцемента. Однако показатели прочности портландцемента во много раз превосходят прочность романцемента. Объясняется это тем, что при получении романцемента (и гидравлической извести) обжиг сырья производится не до спекания (при температуре около 1000°С) и в этих условиях образуются низкоосновные силикаты и алюминаты кальция, обладающие в гидратированном виде невысокой прочностью. В технологии портландцемента обжиг сырьевой смеси доводится до частичного плавления при 1450°С и только при наличии жидкой фазы (расплава) происходит синтез трехкальциевого силиката, обуславливающего высокие показатели прочности и гидравлические свойства. Усиление гидравлических свойств при переходе от воздушной к гидравлической извести и романцементу вследствие уменьшения гидравлического модуля с 9 до 2 при одинаковой практически температуре обжига 1000°С видно из рис. 8.2. В точке же *3* кривой *б* количественное изменение температуры обжига сырья (с 1000 до 1450°С) привело к скачкообразному увеличению прочности и появлению качественного нового вяжущего портландцемента.



Рис.8.2. Зависимость марки вяжущего вещества (кривая *а*) от гидравлического модуля и температуры обжига (кривая *б*):
1, 1'- воздушная известь; 2, 2'- гидравлическая известь; 3, 3' - романцемент; 4,4'- портландцемент

Гидравлическая известь

Гидравлическую известь получают обжигом в шахтных печах не до спекания (900-1100°С) мергелистых известняков с содержанием глины 6-20%. Полученную известь размалывают и применяют в виде порошка либо гасят в пушонку. В процессе обжига мергелистых известняков после разложения углекислого кальция (900°С) часть образующейся CaO остается в свободном состоянии, а часть соединяется с оксидами SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3, входящими в состав глинистых материалов. При этом образуются низкоосновные силикаты ($2CaO \cdot SiO_2$) алюминаты ($CaO \cdot Al_2O_3$) и ферриты ($CaO \cdot Fe_2O_3$) кальция, которые и придают извести гидравлические свойства. Гидравлическая известь начинает твердеть в воздухе (первые 7 сут) и продолжает твердеть и увеличивать свою прочность в воде. Предел прочности при сжатии после 28 сут комбинированного хранения образцов из раствора 1:3 по массе (7 сут во влажном воздухе и 21 сут в воде) 2-5 МПа и выше. Гидравлическую известь применяют для изготовления строительных растворов, бетонов низких марок и бетонных камней. Ее хранят в закрытых помещениях, при перевозке предохраняют от увлажнения.

Романцемент

Романцемент - гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом обожженных не до спекания (900°С) известняковых или магнезиальных мергелей, содержащих более 20% глины. Обра-

зующийся при обжиге низкоосновные силикаты и алюминаты кальция придают романцементу свойство твердеть и сохранять прочность в воде. Романцемент выпускают трех марок: М25, М50 и М100. Он должен выдерживать испытание на равномерность изменения объема. Применяется для изготовления строительных растворов, бетонов, бетонных камней.

Гидравлическая известь и романцемент ранее широко применялись, но теперь эти вяжущие уступили свое место более совершенным гидравлическим вяжущим и прежде всего портландцементу.

Портландцемент

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (70-80%). Портландцемент - продукт тонкого измельчения клинкера с добавкой гипса (3-5%). Клинкер представляет собой зернистый материал ("горошек"), полученный обжигом до спекания (при 1450°С) сырьевой смеси, состоящей в основном из углекислого кальция (известняки различного вида) и алюмосиликатов (глины, мергеля, доменного шлака и др.). Небольшая добавка гипса регулирует сроки схватывания портландцемента.

Для производства портландцемента имеются неограниченные сырьевые ресурсы в виде побочных продуктов промышленности (шлаков, зол, шламов) и распространенных карбонатных и глинистых горных пород. Автоматизация производственных процессов и переход к производству цемента на заводах-автоматах значительно снижают потребление энергии и трудоемкость, позволяют значительно увеличить выпуск цемента в соответствии с гигантским масштабом строительства в нашей стране.

Изобретение портландцемента (1824) связано с именами Егора Герасимовича Челиева - начальника мастерских военно-рабочей бригады и Джозефа Аспдина - каменщика из английского города Лидса, которому был выдан патент на изобретение. Название портландцемент связано с полуостровом на юге Великобритании - Portland, где началось промышленное производство цемента.

Производство портландцемента - сложный технологический и энергоемкий процесс, включающий: добычу в карьере и доставку на завод сырьевых материалов известняка и глины; приготовление сырьевой смеси; обжиг сырьевой смеси до спекания - получение клинкера; помол клинкера с добавкой гипса - получение портландцемента. Обеспечению заданного состава и качества клинкера подчинены все технологические операции.

Сырьевые материалы. Сырьевыми материалами для производства клинкера служат известняки с высоким содержанием углекислого кальция (мел, плотный известняк, мергели и др.) и глинистые породы (глины, глинистые сланцы), содержащие SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. В среднем на 1 т цемента расходуется около 1,5 т минерального сырья; примерное соотношение между карбонатным и глинистым составляющими сырьевой смеси 3:1 (т.е. берется около 75% известняка и 25% глины). В сырьевую смесь вводят добавки, корректирующие химический состав, регулирующие температуру спекания смеси и кристаллизацию минералов клинкера. Например, количество SiO_2 повышают, добавляя в сырьевую массу трепел, опоку. Добавление колчеданных огарков увеличивает содержание Fe_2O_3.

Для производства портландцемента все шире используют побочные продукты промышленности. Весьма ценным сырьем являются доменные шлаки, содержащие необходимые для получения клинкера составные части (CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3). Нефелиновый шлам, получающийся при производстве глинозема, содержит 25-30% SiO_2 и 50-55% CaO; достаточно к нему добавить 15-20% известняка, чтобы получить сырьевую смесь. Использование нефелинового шлама повышает производительность печей примерно на 20% и снижает расход топлива на 20-25%.

Основной и наиболее эффективный вид топлива - природный газ, отличающийся высокой теплотворной способностью. Сокращается применение мазута и твердого топлива, приготовляемого в специальных установках для сушки и помола угля (антрацита, каменного угля). Теплотворная способность твердого топлива ниже, чем газообразного; углевоздушные смеси подвержены взрывам; зольность углей 10-20%, и зола, попадая в обжигаемую сырьевую смесь, искажает расчетный минеральный состав клинкера. Стоимость топлива составляет до 25% себестоимости готового цемента, поэтому на цементных заводах много внимания уделяется его экономии.

Подготовка сырья. Приготовление сырьевой массы состоит в тонком измельчении и смешении взятых в установленном соотношении компонентов, что обеспечивает полноту прохождения химических реакций между ними и однородность клинкера. Приготовление сырьевой смеси осуществляется сухим, мокрым и комбинированным способами.

Сухой способ заключается в измельчении и тесном смешении сухих (или предварительно высушенных) сырьевых материалов, поэтому сырьевая смесь получается в виде минерального порошка, называемого сырьевой мукой. Тонкое совместное измельчение известняка и глины осуществляют в трубных (шаровых) мельницах, в которых совмещаются помол и сушка сырьевых материалов до остаточной влажности 1-2%.

Сырьевую муку направляют в силосы, в них корректируется состав сырья и создается запас, необходимый для бесперебойной работы печей. Наиболее энергоемкий процесс-декарбонизация сырья - вынесен в специальное устройство - декарбонизатор, в котором он протекает быстрее и где $CaCO_3$ разлагается. При сухом способе производства затраты тепла на обжиг клинкера в 1,5-2 раза меньше, чем при мокром способе. Сухой способ наиболее выгоден при использовании известняка и глины с невысокой влажностью (10-15%), однородного состава и физической структуры, когда можно получить гомогенную сырьевую муку при сухом помоле.

Мокрый способ приготовления сырьевой смеси применяют, если мягкое сырье имеет значительную влажность (мел, глины). Тонкое измельчение и смешение исходных материалов осуществляется в водной среде, поэтому сырьевая смесь получается в виде жидкотекучей массы - шлама с большим содержанием воды (35-45%).

Совместное измельчение известняка, глины и корректирующих добавок (например, пиритных огарков, содержащих Fe_2O_3) обеспечивает тщательное смешение исходных материалов и получение однородной сырьевой смеси. Помол сырья производят до остатка на сите 008 не более 8-10%, следовательно, более 90% частиц смеси имеет размер менее 80 мкм. Из трубных мельниц известково-глиняный шлам перекачивают насосами в вертикальные или горизонтальные резервуары (шламбассейны), в них корректируют и усредняют химический состав шлама. Применение разжижителей шлама позволяет

снизить влажность шлама, но не устраняет основной недостаток мокрого способа производства цемента - высокую энергоемкость процесса получения клинкера. Пока наша цементная промышленность применяет производство "по мокрому способу", в условиях резкого удорожания энергоносителей стоимость 1 т цемента значительно выше по сравнению с "сухим способом".

Применение "комбинированного способа" дает возможность на 20-30% снизить расход топлива по сравнению с мокрым способом. Сущность этого способа заключается в том, что приготовленный шлам до поступления в печь обезвоживается на специальных установках. Однако при этом возрастает расход электроэнергии, т.е. энергоемкость производства в целом остается высокой.

Обжиг. Обжиг сырьевой смеси как при сухом, так и при мокром способе производства осуществляется в основном во вращающихся печах. Шахтные печи применяют иногда только при сухом способе производства. Вращающаяся печь представляет собой длинный, расположенный слегка наклонно цилиндр (барабан), сваренный из листовой стали с огнеупорной футеровкой внутри (рис.8.3). Длина печей 95-185-230 м, диаметр 5-7 м.

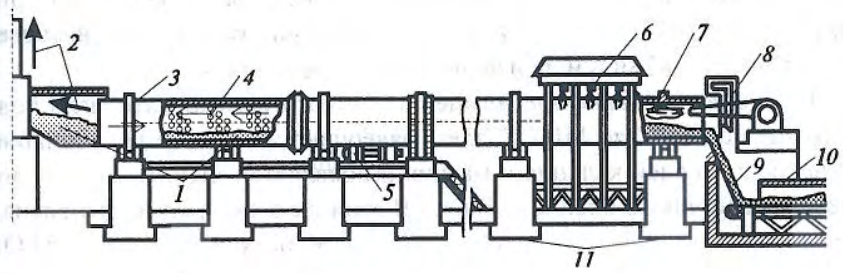


Рис. 8.3. Схема вращающейся печи:
1 - сырьевая шихта; 2 - горячие газы; 3 - вращающаяся печь; 4 - цепные завесы, улучшающие теплообмен; 5 - привод; 6 - водяное охлаждение зоны спекания печи; 7 - факел; 8 - подача топлива через форсунку; 9 - клинкер; 10 - холодильник; 11 - опоры

В России стали применять вращающиеся печи, работающие по сухому способу производства, размером 7х95 м, производительностью 3000 т/сут, с расходом тепла на обжиг 3400 кДж/кг. На предприятиях с мокрым способом производства работают печи 7х230 м, производительностью 3000 т/сут, при расходе тепла 5600 кДж/кг. Для улучшения теплообмена внутри печей ближе к верхнему (холодному) концу

устраивают цепные завесы, устанавливают теплообменники различной конструкции.

Вращающиеся печи работают по принципу противотока. Сырье в виде порошка (сухой способ) или в виде шлама (мокрый способ) подается автоматическим питателем в печь со стороны ее верхнего (холодного) конца, а со стороны нижнего (горячего) конца вдувается топливо (природный газ, мазут, воздушно-угольная смесь), сгорающее в виде факела на протяжении 20-30 м длины печи. Горячие газы поступают навстречу сырью. Сырье занимает только часть печи по поперечному сечению, и при ее вращении со скоростью 1-2 об/мин медленно движется к нижнему концу, проходя различные температурные зоны.

В *зоне испарения* происходит высушивание поступившего сырья при постепенном повышении температуры с 70-80°С (в конце этой зоны), поэтому первую зону называют еще зоной сушки. Подсушенный материал комкуется, при перекатывании комья распадаются на более мелкие гранулы.

В *зоне подогрева*, которая следует за сушкой сырья, при постепенном нагревании сырья с 200°С до 700°С, сгорают находящиеся в нем органические примеси, из глинистых минералов удаляется кристаллохимическая вода (при 450-500°С) и образуется каолинитовый ангидрит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и другие подобные соединения.

В *зоне кальцинирования* температура обжигаемого материала поднимается с 700°С до 1100°С, здесь завершается процесс диссоциации углекислых солей кальция и магния и появляется значительное количество свободного оксида кальция. В этой же зоне происходит распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, которые вступают в химическое взаимодействие с CaO. В результате этих реакций, происходящих в твердом состоянии, образуются минералы $3CaO \cdot Al_2O_3$, $CaO \cdot Al_2O_3$ и частично $2CaO \cdot SiO_2$ - белита.

В *зоне экзотермических реакций* (1100-1250°С) проходят твердофазовые реакции образования $3CaO \cdot Al_2O_3$; $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ и белита.

В *зоне спекания* (1300-1450°С) температура обжигаемого материала достигает наивысшего значения, необходимого для частичного плавления материала и образования главного минерала клинкера - алита $3CaO \cdot SiO_2$ почти до полного связывания оксида кальция (в клинкере $CaO_{свобод}$ - не более 0,5-1%).

В *зоне охлаждения* температура клинкера понижается с 1300°С до 1000°С; здесь полностью формируется его структура и состав.

Цементный клинкер выходит из вращающейся печи в виде мелких камнеподобных зерен-гранул ("горошка") темно-серого или зеленовато-серого цвета. По выходе из печи клинкер интенсивно охлаждается с 1000°С до 100-200°С. После этого клинкер выдерживается на складе 1-2 недели.

Помол. Помол клинкера в тонкий порошок производится преимущественно в трубных (шаровых) мельницах. Трубная мельница представляет собой стальной барабан, облицованный внутри стальными броневыми плитами и разделенный дырчатыми перегородками на 2-4 камеры. Крупнейшими помольными агрегатами являются мельницы размером 3,95х11 м, производительностью 100 т/ч и размером 4,6х16,4 м, производительностью 135 т/ч.

Материал в трубных мельницах измельчается под действием загруженных в барабан мелющих тел - стальных шаров (в камерах грубого помола) и цилиндров (в камерах тонкого помола). При вращении мельницы мелющие тела поднимаются на некоторую высоту и падают, дробя и истирая зерна материала.

Готовый портландцемент - очень тонкий порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета; по выходе из мельницы он имеет высокую температуру (80-120°С) и направляется пневматическим транспортом для хранения в силосы, которые обычно выполняются в виде железобетонных банок диаметром 8-15 м и высотой 25-30 м. Большие силосы вмещают 4000-10000 т цемента.

Цемент в силосах выдерживают до его охлаждения и гашения остатков свободного оксида кальция, которое происходит под действием влаги воздуха. Из силосов цемент погружается в автоцементовозы, в вагоноцементовозы или крытые железнодорожные вагоны. Часть цемента поступает на отвешивающие и упаковывающие машины и поставляется в мешках по 50 кг. Схема производства портландцемента представлена на рис. 8.4.

Твердение

Качество клинкера определяет все свойства портландцемента, добавки же, вводимые в цемент, лишь регулируют его свойства. Качество клинкера зависит от его химического и минерального состава, тщательности подбора сырьевой смеси, условий проведения ее обжига и режима охлаждения получившегося клинкера.

Рис. 8.4. Схема производства портландцемента:
1 – глина и известняк из карьера; *2* – приготовление сырьевой смеси; *3* – дозатор; *4* – вращающаяся печь; *5* – подача топлива; *6* – транспорт клинкера; *7* – склад клинкера; *8* – дробление и дозирование гипса; *9* – склад гипса; *10* – трубная мельница для помола клинкера (с гипсом); *11* – пневматический насос; *12* – компрессор; *13* – склад (силосы) цемента; *14* – упаковка цемента

Клинкер обычно получают в виде спекшихся гранул размером 10-40 мм, имеющих сложную микроструктуру, так как клинкер включает ряд кристаллических фаз и некоторое количество стекловидной фазы.

Химический состав клинкера выражают содержанием оксидов (% по массе). Главными являются: CaO - 63-66%, SiO_2 - 21-24%, Al_2O_3 - 4-8% и Fe_2O_3 - 2-4%, суммарное количество которых составляет 95-97%. В небольших количествах в виде различных соединений могут входить MgO, SiO_3, Na_2O, K_2O, TiO_2, Cr_2O_3 и P_2O_5. В процессе обжига, доводимого до спекания, главные оксиды образуют силикаты, алюминаты и алюмоферрит кальция в виде минералов кристаллической структуры, а некоторая часть их входит в стекловидную фазу.

Минеральный состав клинкера. Основными минералами клинкера являются: алит, белит, трехкальциевый алюминат и алюмоферрит кальция.

Алит $3CaO \cdot SiO_2$ (или C_3S) - самый важный минерал клинкера, определяющий быстроту твердения, прочность и другие свойства портландцемента; содержится в клинкере в количестве 45-60%.

Белит $2CaO \cdot SiO_2$ (или C_2S) - второй по важности и содержанию (20-30%) силикатный минерал клинкера. Он медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительном твердении портландцемента.

Трехкальциевый алюминат (или C_3A) - в клинкере содержится в количестве 4-12% - самый активный клинкерный минерал, быстро взаимодействует с водой. Является причиной сульфатной коррозии бетона, поэтому в сульфатостойком портландцементе содержание C_3A ограничено 5%.

Четырехкальциевый алюмоферрит (или C_4AF) - в клинкере содержится в количестве 10-20%. Характеризуется умеренным тепловыделением и по быстроте твердения занимает промежуточное положение между C_3S и C_2S.

Клинкерное стекло присутствует в промежуточном веществе в количестве 5-15%, оно состоит в основном из CaO, $A1_2O_3$, Fe_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O.

Содержание свободных CaO и MgO не должно превышать соответственно 1% и 5%. При более высоком их содержании снижается качество цемента и может проявиться неравномерное изменение его объема при твердении, связанное с переходом CaO в $Ca(OH)_2$ и MgO в $Mg(OH)_2$.

Щелочи (Na_2O, K_2O) входят в алюмоферритную фазу клинкера, а также присутствуют в цементе в виде сульфатов. Содержание щелочей в портландцементе ограничивается до 0,6% в случае применения заполнителя (песка, гравия), содержащего реакционноспособные опаловидные модификации двуоксида кремния, из-за опасности растрескивания бетона в конструкции.

Цементное тесто, приготовленное путем смешивания цемента с водой, имеет три периода твердения. Вначале, в течение 1-3 ч после затворения цемента водой, оно пластично и легко формуется. Потом наступает схватывание, заканчивающееся через 5-10 ч после затворения; в это время цементное тесто загустевает, утрачивая подвижность, но его механическая прочность еще невелика. Переход загустевшего цементного теста в твердое состояние означает конец схватывания и начало твердения, которое характерно заметным возрастанием прочности. Твердение при благоприятных условиях длится годами - вплоть до полной гидратации цемента.

Химические реакции. Сразу после затворения цемента водой начинаются химические реакции. Уже в начальной стадии процесса гидратации цемента происходит быстрое взаимодействие алита с водой с образование гидросиликата кальция и гидроксида:

$$2(3CaO\cdot SiO_2) + 6H_2O = 3CaO\cdot 2SiO_2\cdot 3H_20 + 3Ca(OH)_2.$$

После затворения гидроксид кальция образуется из алита, так как белит гидратируется медленнее алита и при его взаимодействии с водой выделяется меньше $Ca(OH)_2$, что видно из уравнения химической реакции:

$$2(2CaO\cdot SiO_2) + 4H_2O = 3CaO\cdot 2SiO_2\cdot 3H_2O + Ca(OH)_2.$$

Взаимодействие трехкальциевого алюмината с водой приводит к образованию гидроалюмината кальция:

$$3CaO\cdot A1_2O_3 + 6H_2O = 3CaO\cdot A1_2O_3\cdot 6H_2O.$$

Для замедления схватывания при помоле клинкера добавляют небольшое количество природного гипса (3-5% от массы цемента). Сульфат кальция играет роль химически активной составляющей цемента, реагирующей с трехкальциевым алюминатом и связывающей его в гидросульфоалюминат кальция (минерал эттрингит) в начале гидратации портландцемента:

$$3CaO\cdot A1_2O_3 + 3(CaSO_4\cdot 2H_2O) + 26H_2O = 3CaO\cdot A1_2O_3\cdot 3CaSO_4\cdot 32H_2O.$$

В насыщенном растворе $Ca(OH)_2$ эттрингит сначала выделяется в коллоидном тонкодисперсном состоянии, осаждаясь на поверхности частиц $3CaO\cdot Al_2O_3$, замедляет их гидратацию и затягивает начало схватывания цемента. Кристаллизация $Ca(OH)_2$ из пересыщенного раствора понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе, и эттрингит уже образуется в виде длинных иглоподобных кристаллов. Кристаллы эттрингита и обусловливают раннюю прочность затвердевшего цемента. Эттрингит, содержащий 31-32 молекулы кристаллизационной воды, занимает примерно вдвое больший объем по сравнению с суммой объемов реагирующих веществ (C_3A и сульфат кальция). Заполняя поры цементного камня, эттрингит повышает его механическую прочность и стойкость. Структура затвердевшего цемента улучшается еще и потому, что предотвращается образование в нем слабых мест в виде рыхлых гидроалюминатов кальция.

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой расщепляется на гидроалюминат и гидроферрит:

$$4CaO\cdot A1_2O_3\cdot Fe_2O_3 + m\cdot H_2O = 3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O + CaO\cdot Fe_2O_3\cdot nH_2O.$$

Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, как указано выше, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

Коррозия цементного камня

Цементный камень состоит из гелевых и кристаллических продуктов гидратации цемента и многочисленных включений в виде негидратированных зерен клинкера. Основная масса новообразований при взаимодействии цемента с водой получается в виде гелевидной массы, состоящей в основном из субмикрокристаллических частичек гидросиликата кальция. Гелеподобная масса пронизана относительно крупными кристаллами гидроксида кальция. Такое своеобразное "комбинированное" строение предопределяет специфические свойства цементного камня, резко отличающиеся от свойств других материалов - металлов, стекла, гранита и т.п. Например, с наличием гелевой составляющей связана усадка при твердении на воздухе и набухание в воде, особенности работы под нагрузкой и другие свойства.

Коррозия цементного камня вызывается воздействием агрессивных газов и жидкостей на составные части затвердевшего портландцемента, главным образом на $Ca(OH)_2$ и $3CaO\cdot Al_2O_3\cdot 6H_2O$. Встречаются десятки веществ, могущих воздействовать на цементный

камень и оказаться ддя него вредным. Несмотря на разнообразие агрессивных веществ, основные причины коррозии можно разделить на три вида: разложение составляющих цементного камня, растворение и вымывание гидроксида кальция; образование легкорастворимых солей в результате взаимодействия гидроксида кальция и других составных частей цементного камня с агрессивными веществами и вымывание этих солей (кислотная, магнезиальная коррозия); образование в порах новых соединений, занимающих большой объем, чем исходные продукты реакции; это вызывает появление внутренних напряжений в бетоне и его растрескивание (сульфоалюминатная коррозия).

Коррозия первого вида. *Выщелачивание гидроксида кальция* происходит интенсивно при действии мягких вод, содержащих мало растворенных веществ. К ним относятся воды оборотного водоснабжения, конденсат, дождевые воды, воды горных рек и равнинных рек в половодье, болотная вода. Содержание гидроксида кальция в цементном камне через 3 мес твердения составляет 10-15% (считая на CaO). После его вымывания и в результате уменьшения концентрации CaO (менее 1,1 г/л) начинается разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Выщелачивание $Ca(OH)_2$ в количестве 15-30% от общего содержания в цементном камне вызывает понижение его прочности на 40-50% и более. Выщелачивание можно заметить по появлению белых подтеков на поверхности бетона.

Для ослабления коррозии выщелачивания ограничивают содержание трехкальциевого силиката в клинкере до 50%. Главным средством борьбы с выщелачиванием гидроксида кальция является введение активных минеральных добавок и применение плотного бетона. Процесс выщелачивания гидроксида кальция замедляется, когда в поверхностном слое бетона образуется малорастворимый $CaCO_3$ вследствие карбонизации $Ca(OH)_2$ при взаимодействии с CO_2 воздуха. Выдерживание на воздухе бетонных блоков и свай, применяемых для сооружения оснований, а также портовых и других гидротехнических сооружений повышает их стойкость.

Коррозия второго вида. *Углекислотная коррозия* развивается при действии на цементный камень воды, содержащей свободный двуокись углерода в виде слабой угольной кислоты. Избыточный (сверх равновесного количества) двуокись углерода разрушает карбонатную пленку бетона вследствие образования хорошо растворимого бикарбоната кальция по реакции

$$CaCO_3 + (CO_2)_{своб.} + H_2O = Ca(HCO_3)_2.$$

Общекислотная коррозия происходит при действии растворов любых кислот, имеющих значения водородного показателя pH<7; исключение составляют поликремневая и кремнефтористоводородная кислоты. Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий, они могут проникать в почву и разрушать бетонные фундаменты, коллекторы и другие подземные сооружения. Кислота образуется также из сернистого газа, выходящего из топок. В атмосфере промышленных предприятий, кроме SO_2 могут содержаться ангидриты других кислот, а также хлор и хлористый водород. При растворении его во влаге, адсорбированной на поверхности железобетонных конструкций, образуется соляная кислота.

Кислота вступает в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, при этом образуются растворимые соли (например, $CaCl_2$) и соли, увеличивающиеся в объеме ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$):

$$Ca(OH)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O,$$

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 \cdot 2H_2O.$$

Кроме того, кислоты могут разрушать и силикаты кальция. Бетон на портландцементе защищают от непосредственного действия кислот с помощью защитных слоев из кислотостойких материалов.

Магнезиальная коррозия наступает при взаимодействии на гидроксид кальция магнезиальных солей, которые встречаются в растворенном виде в грунтовых водах и всегда содержатся в большом количестве в морской воде. Содержание солей в воде мирового океана составляет (г/л): NaCl - 27,2; $MgCl_2$ - 3,8; $MgSO_4$ - 1,7; $CaSO_4$ - 1,2. Разрушение цементного камня вследствие реакции обмена протекает по следующим формулам:

$$Ca(OH)_2 + MgCl_2 = CaCl_2 + Mg(OH)_2,$$

$$Ca(OH)_2 + MgSO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + Mg(OH)_2.$$

В результате этих химических реакций образуется растворимая соль (хлористый кальций или двуводный сульфат кальция), вымываемая из бетона. Гидроксид магния представляет бессвязную массу, не растворимую в воде, поэтому реакция идет до полного израсходования гидроксид кальция.

Коррозия под действием минеральных удобрений. Особенно вредны для бетона аммиачные удобрения - аммиачная селитра и сульфат

аммония. Аммиачная селитра, состоящая в основном из нитрата аммония NH_4NO_3, подвергается гидролизу и поэтому дает в воде кислую реакцию. Нитрат аммония действует на гидроксид кальция

$$Ca(OH)_2 + 2NH_4NO_3 + 2H_2O = Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O + 2NO_3.$$

Образующийся нитрат кальция хорошо растворяется в воде и вымывается из бетона. Хлористый калий КС1 повышает растворимость $Ca(OH)_2$ и ускоряет коррозию. Из числа фосфорных удобрений агрессивен суперфосфат, состоящий в основном из монокальциевого фосфата $Ca(H_2PO_4)_2$ и гипса, но содержащий еще и некоторое количество свободной фосфорной кислоты.

Коррозия под влиянием органических веществ. Органические кислоты, как и неорганические, быстро разрушают цементный камень. Большой агрессивностью отличаются уксусная, молочная и винная кислоты. Жирные насыщенные и ненасыщенные кислоты (олеиновая, стеариновая, пальмитиновая и др.) разрушают цементный камень, так как при действии гидроксида кальция они омыляются. Поэтому вредны и масла, содержащие кислоты жирного ряда: льняное, хлопковое, а также рыбий жир. Нефть, нефтяные продукты (керосин, бензин, мазут, нефтяные масла) не представляют опасности для бетона, если они не содержат нефтяных кислот или соединений серы. Однако надо учитывать, что нефтепродукты легко проникают через бетон. Продукты разгонки каменноугольного дегтя, содержащие фенол, могут агрессивно влиять на бетон.

Коррозия третьего вида. *Сульфоалюминатная коррозия* возникает при действии на гидроалюминат цементного камня воды, содержащей сульфатные ионы:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaSO_4 + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O.$$

Образование в порах цементного камня малорастворимого трехсульфатного гидросульфоалюмината кальция (эттрингита) сопровождается увеличением объема примерно в 2 раза. Развивающееся в порах кристаллизационное давление приводит к растрескиванию защитного слоя бетона. Вслед за этим происходит коррозия стальной арматуры, усиление растрескивания бетона и разрушение конструкции. С сульфоалюминатной коррозией всегда надо считаться при строительстве морских сооружений. Вместе с тем могут оказаться агрессивными сточные воды промышленных предприятий, а также

грунтовые воды. Если в воде содержится сульфат натрия, то вначале с ним реагирует гидроксид кальция

$$Ca(OH)_2 + NaSO_4 \rightleftarrows CaSO_4 + 2NaOH.$$

В последующем идет образование гидросульфоалюмината кальция вследствие взаимодействия получающегося сульфата кальция и гидроалюмината. Для борьбы с сульфоалюминатной коррозией применяется специальный сульфатостойкий портландцемент.

Щелочная коррозия может происходить в двух формах: под действием концентрированных растворов щелочей на затвердевший цементный камень и под влиянием щелочей, имеющихся в самом цементе. Если бетон насыщается раствором щелочи (едкого натрия или калия), а затем высыхает, то под влиянием углекислого газа в порах бетона образуется сода и поташ, которые, кристаллизуясь, расширяются в объеме и разрушают цементный камень. Сильнее разрушается от действия сильных щелочей цемент с высоким содержанием алюминатов кальция.

Коррозия, вызываемая щелочами цемента, происходит вследствие процессов, протекающих внутри бетона между его компонентами. В составе цементного клинкера всегда содержится разное количество щелочных соединений. В составе заполнителей бетона, в особенности в песке, встречаются реакционно способные модификации кремнезема: опал, халцедон, вулканическое стекло. Они вступают при обычной температуре в разрушительные для бетона реакции со щелочами цемента. В результате образуются набухающие студенистые отложения белого цвета на поверхности зерен реакционно-способного заполнителя, появляется сеть трещин, поверхность бетона местами вспучивается и шелушится. Разрушение бетона может происходить через 10-15 лет после окончания строительства.

Технические характеристики портландцемента

Характеристики портландцемента определяют: минеральный и вещественный составы, тонкость помола, нормальная густота, сроки схватывания, марка по прочности и другие технические свойства.

Минеральный состав выражает содержание в клинкере (в % по массе) главных минералов. Применяются расчетный и прямые экспериментальные методы определения минерального состава клинкера.

Минеральный состав рассчитывают на основании данных химического анализа, который определяет содержание оксидов (в % по массе).

Прямые экспериментальные методы определения минерального состава клинкера включают: оптическую и электронную микроскопию, рентгеновский фазовый анализ, микрозондирование (лазерный и ионный микрозонды) и др.

Вещественный состав цемента выражает содержание в цементе (в % по массе) основных компонентов: клинкера, гипса, минеральных добавок, пластифицирующих и гидрофобизующих добавок; он приводится в паспорте на цемент.

Допускается введение в цемент при его помоле пластифицирующих или гидрофобизующих поверхностно-активных добавок в количестве не более 0,3% от массы цемента (по согласованию с потребителем).

Тонкость помола цемента оценивается по стандарту путем просеивания предварительно высушенной пробы цемента через сито с сеткой № 008 (размер ячейки в свету 0,08 мм); тонкость помола должна быть такой, чтобы через указанное сито проходило не менее 85% массы просеиваемой пробы.

Наряду с ситовым анализом для оценки дисперсности цемента проводят определение удельной поверхности с помощью специального прибора - поверхностемера. Даже обычный портландцемент М400 измельчается довольно тонко: остаток на сите с сеткой № 008 не превышает 15%, т.е. 85% зерен цемента имеет размер менее 80 мкм, при этом его удельная поверхность составляет обычно 2500-3000 $см^2/г$ (суммарная площадь зерен цемента в 1 г).

Плотность портландцемента (без минеральных добавок) составляет 3,05-3,15. Его насыпная плотность зависит от уплотнения и у рыхлого цемента составляет 1100 $кг/м^3$, у сильно уплотненного - до 1600 $кг/м^3$, в среднем - 1300 $кг/м^3$.

Водопотребность цемента определяется количеством воды (в % от массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста *нормальной густоты*. Нормальной густотой цементного теста считают такую его подвижность, при которой цилиндр-пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5-7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Водопотребность портландцемента в пределах от 22 до 28%. При введении активных минеральных добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) водопотребность цемента повышается и может достигнуть 32-37%.

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяют в тесте нормальной густоты.

Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты. *Началом схватывания* считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 1-2 мм. *Конец схватывания* - время от начала затворения до того момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1-2 мм. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания - не позднее 10 час от начала затворения. Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера на цементном заводе вводят добавку двуводного гипса.

Равномерность изменения объема. Причиной неравномерного изменения объема цементного камня являются местные деформации, вызываемые расширением свободной CaO и периклаза MgO вследствие их гидратации. По стандарту изготовленные из теста нормальной густоты образцы-лепешки через 24 ч предварительного твердения выдерживают в течение 3 ч в кипящей воде. Лепешки не должны деформироваться, не допускаются радиальные трещины.

Активность и марка портландцемента. Активность и марку определяют испытанием стандартных образцов-призм размером 4x4x16 см, изготовленных из цементно-песчаной растворной смеси состава 1:3 (по массе) и В/Ц= 0,4 при консистенции раствора по расплыву конуса 106-115 мм. Через 28 сут твердения (первые сутки образцы твердеют в формах во влажном воздухе, а затем 27 сут - в воде комнатной температуры), образцы-призмы сначала испытывают на изгиб, затем получившиеся половинки призм - на сжатие (см. табл. 1.4). Портландцемент разделяют на марки 400, 500, 550, 600.*

У быстротвердеющих портландцементов нормируется не только 28-суточная прочность, но и начальная, 3-суточная.

Выделение тепла при твердении. Гидратация цемента сопровождается выделением тепла. В тонких бетонных конструкциях тепло гидратации быстро рассеивается и не вызывает существенного разогрева бетона. Однако тепловыделение внутренней части массивной конструкции может повысить его температуру на 40°С и более по отношению к температуре бетонной смеси при укладке. Снаружи массив остывает быстрее, чем внутри, возникают температурные напряжения, которые нередко являются причиной появления трещин в бетоне. Чтобы избежать растрескивания, стремятся использовать

* В соответствии с ГОСТ 30515-97 предусматривается введение классов цементов (МПа): 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

низкотермичные цементы, снижают расход цемента в бетоне, а в случае необходимости применяют искусственное охлаждение массива.

Правила приемки цементов. Цемент отгружают и принимают партиями. Размер партии устанавливают в пределах от 300 до 4000 т в зависимости от годовой мощности цементного завода.

Завод производит паспортизацию цемента и назначает его марку на основании данных текущего контроля производства. В паспорте указывается: полное название цемента, его гарантированная марка, вид и количество добавки, нормальная густота цементного теста, средняя активность цемента при пропаривании. Для проверки качества отгружаемой продукции поставщик производит физические и механические испытания цемента, определяя его прочность в возрасте 3 и 28 сут. По требованию потребителя поставщик сообщает потребителю результаты физико-механических и химических испытаний цемента в 10-дневный срок после их окончания.

Цемент отгружают навалом или в бумажных многослойных мешках; массу мешка указывают на упаковке. При транспортировании и хранении цемент должен защищаться от воздействия влаги и загрязнения. Цементы хранят раздельно по видам и маркам, смешивание разных цементов не допускается.

§ 4. Специальные виды портландцемента

Для получения портландцемента с заданными специальными свойствами используют следующие основные пути: регулирование минерального состава и структуры цементного клинкера, оказывающее решающее влияние на все строительно-технические свойства; введение минеральных и органических добавок, позволяющих направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне; регулирование тонкости помола и зернового состава цемента, влияющих на скорость твердения, активность, тепловыделение и другие свойства цемента.

Быстротвердеющий и особобыстротвердеющий портландцемент

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) - портландцемент с минеральными добавками, отличающийся повышенной прочностью через 3 сут твердения, более половины его марочной прочности. Сумма $C_3S + C_3A$ в клинкере - обычно не менее 60-65%. Помол БТЦ

производится более тонко до удельной поверхности 3500-4000 $см^2/г$ (вместо 2800-3000 $см^2/г$ для обычного портландцемента). Это ускоряет твердение цемента. БТЦ выпускают М400 и М500 с нормативными показателями прочности.

Особобыстротвердеющий высокопрочный портландцемент (ОБТЦ) марки 600 в возрасте 1 сут имеет предел прочности 20-25 МПа, а через 3 сут - 40 МПа. Такой быстрый рост прочности обуславливается содержанием C_3S до 65-68%, C_3A - до 18%, тонкость помола около 4000 $см^2/г$. Применение ОБТЦ позволяет снижать расход цемента на 15-20%.

Эти цементы применяются в производстве сборных железобетонных конструкций, а также при зимних бетонных работах. Следует иметь ввиду повышенное их тепловыделение, которое исключает применение для массивных конструкций. БТЦ с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината непригоден для бетона, подвергающегося сульфоалюминатной коррозии.

Сверхбыстротвердеющий цемент (СБТЦ), разработанный на основе специального минерального состава, дает раннюю прочность через 1-4 часа, достаточную для распалубки изделий. В сырьевую смесь СБТЦ вводятся галогеносодержащие вещества (фторид или хлорид кальция) и повышается содержание алюминатов.

Сульфатостойкий портландцемент

Сульфатостойкий портландцемент изготовляют на основе клинкера, содержащего не более 50% C_3S, 5% C_3A и 22% $C_3A + C_4AF$.

Сульфатостойкий портландцемент предназначается не только для изготовления бетонов, подвергающихся действию сульфатной коррозии, но и для бетонов повышенной морозостойкости. Это обеспечивается прежде всего пониженным содержанием трехкальциевого алюмината. Кроме того, при помоле никаких минеральных добавок, кроме гипса, не вводится, однако возможно введение пластифицирующих или гидрофобизующих веществ, повышающих морозостойкость.

Портландцементы с органическими добавками

В современной технологии бетона широко применяют поверхностно-активные вещества, вводимые в малых дозах (0,05-0,3% от массы цемента) в бетонные и растворные смеси при их изготовлении и добавляемые в цемент при помоле клинкера.

Поверхностно-активные добавки можно разделить на гидрофилизующие и гидрофобизующие.

К *гидрофилизующим добавкам* относятся лигносульфонаты кальция (ЛСТ).

К *гидрофобизующим добавкам* относят мылонафт, асидол, асидол-мылонафт, синтетические жирные кислоты и их соли.

Пластифицированный портландцемент изготовляют путем введения при помоле клинкера около 0,25% ЛСТ (считая на сухое вещество). Он отличается от обычного портландцемента способностью придавать растворным и бетонным смесям повышенную подвижность. Пластифицирующий эффект используется для уменьшения водоцементного отношения, повышения морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Если же сохранить В/Ц, то можно снизить расход цемента (примерно на 10-15%) без ухудшения качества бетона.

Гидрофобный портландцемент получают, вводя при помоле клинкера 0,1-0,2% мылонафта, асидола, синтетических жирных кислот, их кубовых остатков и других гидрофобизующих веществ. Он обладает пониженной (по сравнению с обычным цементом) гигроскопичностью, лучше сохраняет свою активность при хранении и перевозках. Гидрофобный портландцемент пластифицирует бетонные и растворные смеси, повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

К цементам с органическими добавками следует отнести и **вяжущие низкой водопотребности** (ВНВ), которые получают совместным помолом портландцемента и поверхностно-активного вещества суперпластификатора (С-3, 10-03, 30-03 и др.). Портландцемент домалывают до тонкости помола 4500...5000 $см^2/г$ в присутствии суперпластификатора (обычно С-3 - сульфинированная меламино-формальдегидная смола) в порошкообразном состоянии. При этом зерна цемента капсулируются тончайшими оболочками из суперпластификатора. ВНВ характеризуется следующими свойствами:

- высокой тонкостью помола, что создает повышенную реакционную способность;
- водопотребностью 15...18% (вместо 25...27% у обычного цемента);
- замедлением начала схватывания до 6...7 часов при сохранении конца схватывания до 10 часов;
- быстрым набором прочности в ранние сроки (через сутки предел прочности при сжатии составляет 25... 30 МПа).

ВНВ является высокомарочным вяжущим. Его марки лежат в пределах 700-1000. Однако применение цементов таких высоких марок целесообразно лишь в высокопрочных бетонах. Для получения ВНВ марок 500...600, применяемых в тяжелых бетонах, при помоле вводят минеральные добавки (тонкомолотый кварцевый песок, зола-унос и др.) в количестве 30...50% от массы цемента.

Портландцементы с минеральными добавками

Активными минеральными добавками называют природные или искусственные вещества, которые при смешивании и тонкоизмельченном виде с воздушной известью и затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой.

Активные минеральные добавки (называемые иначе гидравлическими добавками) содержат двуоксид кремния в аморфном, а следовательно, в химически активном состоянии и способны поэтому взаимодействовать с гидроксидом кальция, образуя гидросиликаты кальция.

Активные минеральные добавки могут быть природными (естественными) и искусственными. В качестве природных активных добавок широко используют горные породы (диатомит, трепел, опоку, горелые глинистые породы - глиежи), а также породы вулканического происхождения (вулканический пепел, туф, пемзу, витрофир, трасс). Искусственные активные минеральные добавки представляют собой побочные продукты и отходы промышленности: быстроохлажденные (гранулированные) доменные шлаки; белитовый (нефелиновый) шлам-отход глиноземного производства, содержащий в своем составе до 80% минерала белита (двухкальциевого силиката); золаунос-отход, получившийся при сжигании твердого топлива в пыле-

видном состоянии и улавливаемый электрофильтрами и другими устройствами.

Использование отходов промышленности, в частности, для выпуска вяжущих веществ имеет большое народнохозяйственное значение.

Пуццолановый* **портландцемент** изготовляют путем совместного помола клинкера и активной минеральной добавки с необходимым количеством гипса. Добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) должно быть не менее 20% и не более 30%, а вулканических добавок (пемзы, туфа), а также глиежа или топливной золы - не менее 25% и не более 40%. Активная минеральная добавка вначале адсорбирует, а затем химически связывает гидроксид кальция, образующийся при взаимодействии алита с водой:

$$m\cdot Ca(OH)_2 + SiO_{2акт} + n\cdot H_2O \rightarrow (0{,}8\text{-}1{,}5)\ CaO\cdot SiO_2\cdot pH_2O.$$

В результате этого процесса, происходящего во влажных условиях и при положительной температуре, растворимый гидроксид кальция связывается в практически нерастворимый гидросиликат кальция. Вследствие этого значительно возрастает стойкость бетона в отношении выщелачивания $Ca(OH)_2$. Пуццолановый портландцемент следует применять для бетонов, постоянно находящихся во влажных условиях (подводные и подземные части сооружений). На воздухе бетон на пуццолановом портландцементе дает большую усадку и в сухих условиях частично теряет прочность, что объясняется "выветриванием" воды из гидратных соединений. Кроме того, бетоны на этом цементе имеют низкую морозостойкость и не годятся для сооружений, подвергающихся замораживанию и оттаиванию. Пуццолановый портландцемент твердеет в нормальных условиях медленнее, чем портландцемент. Поэтому его не следует применять при зимних бетонных работах.

* Название происходит от итальянского г. Pozzuoli; рыхлая вулканическая порода - пуццолана применялась еще в Древнем Риме, в качестве добавки к извести.

Пуццолановый портландцемент обладает сравнительно небольшим тепловыделением и часто применяется для бетонов внутренних частей массивных сооружений (плотин, шлюзов и т.п.).

Шлакопортландцемент - гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе. Он получается путем совместного тонкого помола клинкера и гранулированного доменного (или электротермофосфорного) шлака с необходимым количеством гипса. Допускается раздельный помол компонентов и их последующее смешение. Количество доменного шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21% и не более 80% (от массы цемента). Допускается замена до 10% шлака трепелом или другой активной добавкой.

Доменные шлаки по своему химическому составу напоминают цементный клинкер. В них преобладают оксиды (%): 30-50 CaO; 28-30 SiO_2; 8-24 Al_2O_3; 1-3 MnO; 1-18 MgO, общее содержание которых достигает 90-95%. Гидравлическая активность шлаков характеризуется коэффициентом качества.

$$K = \frac{\%CaO + \%MgO + \%Al_2O_3}{\%SiO_2}.$$

С увеличением показателя коэффициента качества выше гидравлическая активность доменного гранулированного шлака, K_{min}=1.

Шлак, применяемый в качестве добавки к цементу, обязательно подвергается быстрому охлаждению водой или паром. Эта операция называется грануляцией, так как в процессе быстрого охлаждения шлаковый расплав распадается на отдельные зерна (гранулы). Быстрое охлаждение препятствует кристаллизации шлака, и он получается в стеклообразном и тонкозернистом химически активном состоянии. Поэтому гранулированный шлак является активным компонентом шлакопортландцемента, он взаимодействует с гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликата ($CaO\cdot SiO_2\cdot 2{,}5H_2O$) и гидроалюмината ($2CaO\cdot Al_2O_3\cdot 8H_2O$) кальция. Процесс твердения шлакопортландцемента значительно ускоряется при тепловлажностной обработке, поэтому его эффективно применять в сборных изделиях, изготовляемых с пропариванием.

Незначительное содержание в цементном камне $Ca(OH)_2$ повышает стойкость шлакопортландцемента в мягких и сульфатных водах по сравнению с портландцементом. Тепловыделение при твердении шлакопортландцемента в 2-2,5 раза меньше, чем у портландцемента,

поэтому он является самым подходящим цементом для бетона массивных конструкций. Шлакопортландцемент выгодно отличается от пуццоланового портландцемента умеренной водопотребностью, более высокой воздухостойкостью и морозостойкостью. Он успешно применяется как для надземных, так и подземных и подводных частей сооружений. Стоимость его на 15-20% ниже стоимости портландцемента.

Жаростойкость шлакопортландцемента значительно выше, чем у портландцемента, поэтому он широко используется для изготовления жаростойких бетонов. Однако шлакопортландцементу присущ тот же недостаток, что и пуццолановому портландцементу - он медленно набирает прочность в первое время твердения, в особенности при пониженных температурах. Этот недостаток устраняется в быстротвердеющем шлакопортландцементе, который обладает более интенсивным нарастанием прочности, чем обычный шлакопортландцемент. Обычньй шлакопортландцемент имеет марки: 300, 400 и 500.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент М400 за 3 сут твердения должен приобрести прочность при сжатии не менее 200 кгс/см^2 (20 МПа), при изгибе - не менее 35 кгс/см^2 (3,5 МПа). Этот вид цемента эффективно применять в производстве бетонных и железобетонных изделий, изготовляемых с применением тепловлажностной обработки.

Гипсоцементнопуццолановые вяжущие (ГЦПВ) получают, смешивая полуводный гипс (50-75%), портландцемент (15-25%) и активную минеральную добавку (10-25%) по массе - трепел, диатомит и т.п. Эти вяжущие относят к числу гидравлических и применяют в заводском производстве санитарно-технических кабин, стеновых панелей и других конструкций.

Активная минеральная добавка необходима для обеспечения стабильности затвердевшего вяжущего. Портландцемент с гипсом не рекомендуется смешивать, так как получается неустойчивый материал, деформирующийся и разрушающийся вследствие образования высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция, кристаллизующегося с 31-32 молекулами воды и значительным увеличением объема. Когда же свободной извести в жидкой фазе немного (CaO связывается добавкой в гидросиликаты кальция), то получается низкоосновный гидросульфоалюминат кальция без заметного увеличения объема. Добавка как бы ослабляет

внутренние напряжения в цементном камне ГЦПВ и обеспечивает устойчивость его во времени.

Белый и цветные портландцементы

Клинкер белого цемента изготовляют из чистых известняков и белых глин, почти не содержащих оксидов железа и марганца, которые придают обычному портландцементу зеленовато-серый цвет. Обжигают сырьевую смесь на беззольном (газовом) топливе. При помоле клинкера предохраняют цемент от попадания в него частиц железа.

В качестве эталона для определения степени белизны применяют молочное матовое стекло типа МС-14 с коэффициентом отражения не менее 95%. Степень белизны, определяемая коэффициентом отражения (в % абсолютной шкалы), должна быть для белого портландцемента 1-го сорта - не ниже 80%, 2-го сорта - 75%, 3-го сорта - 68%; цемент выпускают М400 и М500.

Цветные декоративные портландцементы получают, примешивая к белому цементу щелочестойкие пигменты (охру и др.).

Тампонажный портландцемент

Тампонажный портландцемент изготовляют измельчением клинкера, гипса и добавок. Он предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин. Цемент для холодных скважин испытывают при температуре 22±2°С, для горячих скважин - при 75±3°С. Основная прочностная характеристика цемента - предел прочности при изгибе образцов-балочек размером 4х4х16 см, изготовленных из цементного теста с В/Ц = 0,5. Предусматривают выпуск специальных разновидностей портландцемента: утяжеленного, песчанистого, солестойкого, низкогигроскопичного.

§ 5. Глиноземистый цемент

Глиноземистый цемент - быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельченного клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция. Однокальциевый алюминат $CaO \cdot Al_2O_3$ оп-

ределяет быстрое твердение и другие свойства глиноземистого цемента. В сравнительно небольших количествах в нем также содержатся другие алюминаты кальция, например $CaO \cdot 2Al_2O_3$. Влияние на качество цемента оказывает алюмосиликат кальция - геленит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Силикаты кальция представлены небольшим количеством белита.

Для получения клинкера глиноземистого цемента в качестве главных компонентов сырьевой массы берут известняк $CaCO_3$ и породы, содержащие глинозем ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$), например, бокситы.

В России разработан способ производства глиноземистого цемента путем плавки в доменной печи бокситовой железной руды с добавкой известняка и железного лома. При этом доменная печь одновременно выдает чугун и шлак, представляющий клинкер глиноземистого цемента.

Глиноземистый цемент обладает высокой прочностью только в том случае, если он твердеет при умеренных температурах, не свыше 25°С. Поэтому глиноземистый цемент нельзя применять для бетонирования массивных конструкций из-за разогрева бетона, а также подвергать тепловлажностной обработке.

Замечательным свойством глиноземистого цемента является его необычно быстрое твердение. Марки глиноземистого цемента, определяемые по результатам испытания образцов 3-суточного возраста М400, М500 и М600. Как известно, портландцемент приобретает такую прочность только через 28 сут нормального твердения.

При столь быстром твердении глиноземистый цемент обладает нормальными сроками схватывания, почти такими же, как и портландцемент. Начало схватывания глиноземистого цемента должно наступать не ранее 30 мин (у портландцемента не ранее 45 мин), а конец - не позднее 12 ч от начала затворения. Тепловыделение глиноземистого цемента при твердении примерно в 1,5 раза больше, чем у портландцемента. В продуктах гидратации глиноземистого цемента не содержится гидроксида кальция и трехкальциевого шестиводного гидроалюмината (если температура не превышает 25°С), поэтому бетон на глиноземистом цементе более стоек по сравнению с портландцементом против выщелачивания $Ca(OH)_2$, а также в растворах сульфата кальция и магния (в частности, в морской воде). Однако затвердевший глиноземистый цемент разрушается в растворах кислот и щелочей, поэтому глиноземистый цемент нельзя смешивать с портландцементом и известью.

С учетом специфических свойств и высокой стоимости глиноземистый цемент предназначается для получения быстротвердеющих, а также жаростойких бетонов и растворов. Кроме того, глиноземистый цемент используется для получения расширяющихся цементов.

§ 6. Расширяющиеся и безусадочные цементы

Расширяющиеся цементы относятся к числу смешанных, иногда многокомпонентных цементов. Изучались различные расширяющиеся компоненты, однако наиболее эффективным оказался трехсульфатный гидросульфоалюминат кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$. Состав цемента дает возможность регулировать количество и скорость образования кристаллов гидросульфоалюмината кальция и избежать появления вредных напряжений, вызывающих растрескивание затвердевшего цементного камня.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ) является быстросхватывающимся и быстротвердеющим гидравлическим вяжущим. Он получается путем тщательного смешивания глиноземистого цемента (70%), гипса (20%) и молотого специально изготовленного высокоосновного гидроалюмината кальция (10%).

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент - быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое совместным тонким измельчением высокоглиноземистых клинкера или шлака и природного двуводного гипса или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных раздельно. Гипсоглиноземистый цемент обладает свойством расширения при твердении в воде; при твердении на воздухе он проявляет безусадочные свойства.

Расширяющийся портландцемент (РПЦ) является гидравлическим вяжущим веществом, получаемым совместным тонким измельчением следующих компонентов (в % по массе): портландцементного клинкера - 58-63, глиноземистого шлака или клинкера - 5-7, гипса - 7-10, доменного гранулированного шлака или другой активной минеральной добавки - 23-28. РПЦ отличается быстрым твердением в условиях кратковременного пропаривания, высокой плотностью и водонепроницаемостью цементного камня и способностью расширяться в водных условиях при постоянном увлажнении в течение первых 3 сут.

Напрягающий цемент состоит из 65-75% портландцемента, 13-20% глиноземистого цемента и 6-10% гипса; затворенный водой, сначала твердеет и набирает прочность, затем расширяется как твердое тело и напрягает железобетон. Самонапряженный железобетон применяется в напорных трубах, в монолитных и сборных резервуарах для воды, в спортивных и подземных сооружениях.

Вопросы для самоконтроля

1. Сравните по химическому составу и структуре гипсовые вяжущие β-модификации и α-модификации (высокопрочный гипс); определите свойства и назовите применение разновидностей гипсовых вяжущих.
2. Сравните гидравлическую и воздушную извести по составу и свойствам, определяющим области применения.
3. Объясните влияние минерального состава на прочность и экзотермию портландцемента, используя сведения о процессах гидратации главных клинкерных минералов (C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF).
4. Укажите происхождение и виды портландцемента. Как влияет структура на свойства цементного камня: прочность, морозостойкость, усадку, ползучесть?
5. Укажите различие понятий: "активность" и "марка" цемента по прочности. Как определить марку цемента? Предназначение цемента различных марок.
6. Методы придания портландцементу специальных свойств, приведите примеры их использования: быстротвердеющий, сульфатостойкий портландцементы.
7. Методы первичной защиты цементного камня от коррозии при воздействии жидких агрессивных сред.

Дополнительная литература

1. *Волженский А.В.* Минеральные вяжущие вещества. - М., 1986.
2. *Рояк С.М., Рояк Г.С.* Специальные цементы. - М., 1989.
3. *Кравченко И.В.* и др. Высокопрочные и особобыстротвердеющие портландцементы. - М., 1971.
4. *Горшков В.С.* и др. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. - М., 1985.
5. *Волженский А.В., Ферронская А.В.* Гипсовые вяжущие и изделия. - М., 1974.
6. *Тейлор Х.* Химия цемента /Пер. с англ. – М., 1998.

Б. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Глава IX. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Искусственные каменные материалы и изделия на основе вяжущих веществ получают необходимую прочность в результате затвердевания вяжущих, в отличие от керамических материалов, которые переходят в камневидное состояние только после обжига. В качестве заполнителей применяют кварцевый песок, шлак, пемзу, золу, древесные опилки, а в качестве армирующих материалов - асбест, древесное волокно, льняные очесы, бумажную макулатуру, стальную арматуру и проволоку и др.

Различают изделия на основе гипса, извести, портландцемента.

На основе гипса изготовляют перегородочные плиты, гипсобетонные камни, обшивочные листы, архитектурные детали и другие изделия.

На основе извести получают силикатный, известково-шлаковый и известково-зольный кирпичи, силикатные, пеносиликатные и другие изделия из плотного и ячеистого силикатного бетона.

Портландцемент идет на производство бетонных и железобетонных изделий (см. гл. X, XX), асбоцементных плиток и профилированных листов, асбоцементных труб.

§ 2. Материалы на основе гипса

Быстрое твердение гипса и высокие его формовочные свойства дают возможность сократить технологический процесс производства гипсовых изделий, повысить оборачиваемость форм, открывают широкую перспективу для изготовления сборных крупноразмерных элементов зданий и снижения стоимости строительства.

При сравнительно малой плотности гипсовые изделия имеют достаточную прочность, низкую теплопроводность и высокую звукоизоляцию; они легко поддаются механической обработке (распиливанию, сверлению и т.п.) и окрашиваются в различные цвета.

Наряду с перечисленными выше преимуществами изделия на основе гипса имеют и существенный недостаток - низкую водостойкость, при увлажнении значительно снижается прочность гипсовых

изделий, а также наблюдается явление ползучести (увеличение пластических деформаций при неизменной нагрузке), поэтому их можно применять только в сухих помещениях или надежно защищать от увлажнения. Для уменьшения ползучести в гипсовую массу добавляют молотый доменный шлак.

Изделия из гипса разделяют на гипсовые и гипсобетонные.

Гипсовые изделия изготовляют из гипсового теста (иногда с небольшой добавкой органических или молотых минеральных заполнителей).

Гипсобетонные изделия получают из гипсового раствора или бетона обычно с легкими и пористыми минеральными заполнителями, с которыми гипсовый камень сцепляется лучше, чем с песком и гравием. В качестве минеральных заполнителей применяют топливные и доменные шлаки, туфовый и пемзовый щебень, ракушечник и др., а в качестве органических - сечку из древесной шерсти, соломы, камыша, измельченную бумажную макулатуру, опилки и др.

Применение заполнителей хотя и сокращает расход гипса, но уменьшает прочность изделий. Для повышения прочности гипсовых и гипсобетонных изделий уменьшают расход воды, а при укладке смеси применяют вибрирование, прессование, трамбование.

Для производства гипсовых и гипсобетонных изделий используют гипс строительный, высокопрочный, а также смешанный гипсошлаковый цемент, который наряду с высокой прочностью не вызывает коррозии стальной арматуры.

По назначению гипсовые и гипсобетонные изделия разделяют на следующие группы: плиты и панели для перегородок, изделия для перекрытий; листы для облицовки стен (гипсовая сухая штукатурка); стеновые камни; теплоизоляционные изделия; архитектурно-декоративные детали (карнизы, потолочные розетки, плафоны, фризы и др.).

Плиты и панели для перегородок

Плиты для перегородок. Изготовляют такие плиты из гипсового теста (гипсовые) либо из гипсового раствора и бетона с минеральными или органическими заполнителями (гипсобетонные).

Производство плит состоит из следующих операций: дозирования сырьевых материалов - гипса, заполнителей, воды и замедлителя (или ускорителя) схватывания; перемешивания смеси в гипсорастворомешалке; формования и высушивания плит.

Формуют плиты тремя способами - методом литья, вибрацией и прессованием.

Схема производства перегородочных плит на карусельной машине показана на рис. 9.1. Гипс и опилки (или шлак) при помощи ковшового элеватора загружают в бункеры, из которых в строго определенных соотношениях они поступают в смесительный шнек, перемешиваются в нем и подаются в гипсорастворосмеситель, где смесь увлажняется и окончательно перемешивается.

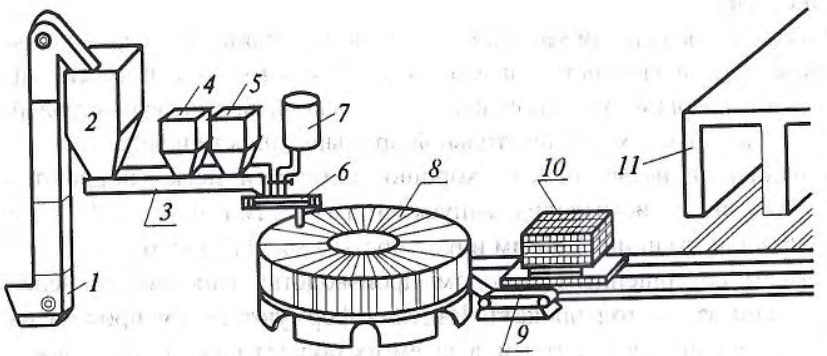


Рис. 9.1. Технологическая схема производства перегородочных плит на карусельной машине:

1 - элеватор; 2 - бункер для гипса; 3 - смесительный шнек; 4 - бункер для опилок; 5 - бункер для ускорения схватывания; 6 - гипсомешалка; 7 - подогреватель воды; 8 - карусельная машина; 9 - ленточный транспортер; 10 - вагонетка с плитами; 11 - туннельная сушилка

Приготовленный раствор сливают в свободную форму, расположенную на вращающемся столе карусельной машины, после чего стол поворачивается на одну позицию, а следующую свободную форму снова заполняют раствором, где он схватывается и твердеет.

Отформованная плита при помощи механизма выталкивается из формы, поступает на транспортер, а затем на вагонетке доставляется в туннельную сушилку.

Плотность плит зависит от состава смеси и способа уплотнения. В среднем он составляет 1100-1300 кг/м^3. Размеры плит 800х400 мм и 1500х400 мм (гипсокамышовых), толщина их - 80-100 мм.

Панели для перегородок. Такие панели отличаются от плит большими размерами и большей прочностью гипсового бетона.

Крупноразмерные гипсобетонные панели изготовляют в виде плит толщиной 80-120 мм, шириной, равной высоте этажа, и длиной на комнату, а в отдельных случаях - на часть комнаты.

В процессе изготовления в них можно закладывать дверные коробки и другие детали. Для санитарных узлов применяют гипсобетонные панели размером 2510х1700 мм. Плотность гипсобетонных панелей - 1500 кг/м^3.

При значительных преимуществах гипсобетонные панели тяжелы, а их сушка при массовом выпуске сопряжена с рядом технических трудностей.

Более эффективными крупноразмерными изделиями для перегородок являются гипсоволокнистые панели, которые изготовляют из смеси гипса, воды и волокнистых заполнителей (бумажной макулатуры, стеблей, соломы, камыша, отходов текстильной промышленности и др.).

Гипсоволокнистые панели хорошо пилятся и легко поддаются гвоздимости. Такие изделия выпускают размерами 3000х1200 мм и 2500х600 мм, толщиной 50 мм и плотностью 800-1100 кг/м^3.

Самым совершенным методом производства гипсовых панелей можно считать метод проката. Изделия формуют путем проката их между движущимися лентами, а затем их подают на сушку в сушила (рис. 9.2).

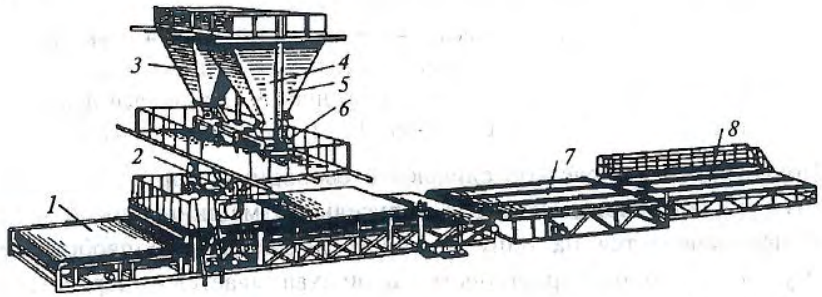


Рис. 9.2. Технологическая схема производства гипсобетонных панелей методом проката:
1 - прокатный агрегат; 2 - растворосмеситель; 3,4,5- бункеры гипса, песка, опилок; 6 - дозатор-питатель; 7 - обгонный рольганг; 8 - кантователь

Плиты и панели применяют для устройства внутренних перегородок зданий. Поскольку плиты и панели из гипсовых вяжущих достаточно огнестойки, их нередко применяют в качестве огнезащитной облицовки металлических и деревянных конструкций.

Перегородочные плиты и панели можно устанавливать в санитарных узлах квартир при условии защиты их поверхностей водонепроницаемыми красками, плитками и т.п.

Гипсовые обшивочные листы

Гипсовая сухая штукатурка представляет собой листовой отделочный материал, состоящий из тонкого слоя затвердевшего гипса, покрытого с обеих сторон картоном и прочно соединенного с ним. Сцепление покровного слоя (картона) с гипсом должно быть настолько прочным, чтобы картон при отрывании не отделялся от гипсовой основы, а мог только разрываться.

Для формования обшивочных листов гипсовую массу приготовляют без добавок или с добавками минеральных или органических материалов. Органические добавки волокнистого строения образуют армирующий каркас в гипсовом камне, однако основную роль в повышении прочности при изгибе гипсовых обшивочных листов выполняют картонные покрытия.

Длину гипсовых обшивочных листов принимают равной 250, 270, 290 и 330 см, т.е. на всю высоту этажа помещения, ширину - 120 и 130 см, толщину - 10-12 мм.

Гипсовые обшивочные листы применяют для отделки внутренних поверхностей помещений - стен, потолков и перегородок. Использовать их можно только в помещениях с нормальной относительной влажностью воздуха (до 60%), а в санитарных узлах - лишь при условии надежной защиты от увлажнения. Такие листы целесообразнее прикреплять к основанию не гвоздями, а мастиками.

Применение гипсовой сухой штукатурки упрощает и ускоряет отделочные работы, поскольку крепление листов к стенам и перегородкам - менее сложный процесс, чем оштукатуривание тех же поверхностей; кроме того не нужно тратить время на ее сушку.

Сухая гипсовая штукатурка является хорошим огнезащитным средством для сгораемых и не огнестойких конструкций. Вместе с тем на изготовление гипсовых обшивочных листов требуется много дорогостоящего картона, стоимость которого составляет до 60% от общей стоимости изделий. Применение картона для армирования листов к тому же усложняет технологический процесс. Учитывая это, гипсоволокнистые листы изготовляют также без картона; в качестве армирующего материала в этом случае используют органические волокнистые наполнители (измельченную древесину, бумажную ма-

кулатуру и т.п.), добавляемые к гипсу в количестве до 10%. Такие листы не уступают по прочности гипсовым, оклеенным картонам, а стоимость их значительно ниже.

Крепят листы сухой штукатурки к стенам и перегородкам, кроме деревянных, путем приклейки тыльной стороны листов мастикой. Боковые кромки полномерных гипсовых листов сухой штукатурки в стыках с соседними листами не должны иметь повреждений. Стыки листов на ребрах выступающих двугранных углов оклеивают полоской марли и тщательно прошпаклевывают или покрывают деревянными или пластмассовыми уголками-накладками - для обеспечения сохранности от внешних повреждений.

Внутренняя отделка помещений осуществляется листами сухой гипсовой штукатурки с отделкой лицевого слоя полимерными пленками или текстурной бумагой под дерево или мрамор, покрытые прозрачными лаками - материал *декорт.*

§ 3. Материалы на основе извести (силикатные изделия)

Производство силикатных строительных материалов базируется на гидротермальном синтезе гидросиликатов кальция, который осуществляется в реакторе-автоклаве в среде насыщенного водяного пара давлением 0,8-1,3 МПа и температурой 175-200°С. Для гидротермального синтеза можно использовать при надлежащем обосновании иные параметры автоклавизации, применять обработку не только паром, но и паровоздушной или парогазовой смесью, водой.

Силикатные автоклавные материалы - это бесцементные материалы и изделия (силикатные бетоны, силикатный кирпич, камни, блоки), приготовленные из сырьевой смеси, содержащей известь (гашеную или молотую негашеную), кварцевый песок и воду, которые образуют в процессе автоклавной обработки гидросиликаты кальция:

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + mH_2O = CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O.$$

В условиях автоклавной обработки можно получить различные гидросиликаты кальция в зависимости от состава исходной смеси: тоберморит $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$, слабо закристаллизованные гидросиликаты: (0,8-1,5) $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ - и (1,5-2) $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$. В высокоизвестковых смесях синтезируется гиллебрандит $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$.

Автоклав представляет собой горизонтально расположенный стальной цилиндр с герметически закрывающимися с торцов крышками (рис. 9.3).

Диаметр автоклава - 2,6-3,6 м, длина - 21-30 м. Автоклав снабжен манометром, показывающим давление пара, и предохранительным клапаном, автоматически открывающимся при повышении давления выше предельного. В нижней части автоклава уложены рельсы, по которым передвигаются загруженные в автоклав вагонетки с изделиями. Автоклав оборудован устройствами для автоматического контроля и управления режимом автоклавной обработки. Для уменьшения теплопотерь автоклав покрыт слоем теплоизоляции.

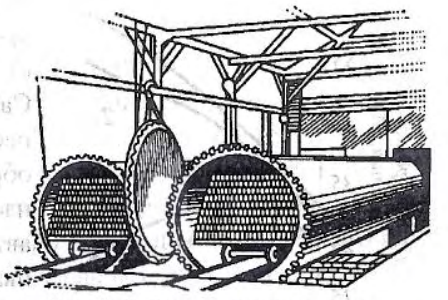


Рис.9.3. Загрузка в автоклав

После загрузки автоклав закрывают и в него постепенно впускают насыщенный пар. Высокая температура при наличии в бетоне воды в капельно-жидком состоянии создает благоприятные условия для химического взаимодействия между гидроксидом кальция и кремнеземом.

Прочность автоклавных материалов формируется в результате взаимодействия двух процессов: структурообразования, обусловленного синтезом гидросиликатов кальция, и деструкции, обусловленной внутренними напряжениями.

Для снижения внутренних напряжений автоклавную обработку проводят по определенному режиму, включающему постепенный подъем давления пара в течение 1,5-2 ч, изотермическую выдержку изделий в автоклаве при температуре 175-200°С и давлении 0,8-1,3 МПа в течение 4-8 ч и снижение давления пара в течение 2-4 ч. После автоклавной обработки продолжительностью 8-14 ч получают силикатные изделия.

Силикатные бетоны

Силикатные бетоны, как и цементные, могут быть тяжелыми (заполнитель-песок и щебень или песок и песчано-гравийная смесь), легкими (заполнители пористые - керамзит, вспученный перлит, аглопорит и др.) и ячеистыми.

В силикатном бетоне применяют известково-кремнеземистое вяжущее, в состав которого входят воздушная известь и тонкомолотый кварцевый песок (взамен песка применяют золу, молотый доменный шлак). Прочность известково-кремнеземистого вяжущего зависит от активности извести, соотношения CaO/SiO_2, тонкости измельчения песка и параметров автоклавной обработки (температуры и давления насыщенного пара, длительности автоклавного твердения). Оптимальным будет такое соотношение CaO/SiO_2 и такая тонкость помола песка, при которых вся CaO будет связана в низкоосновные гидросиликаты кальция (рис. 9.4).

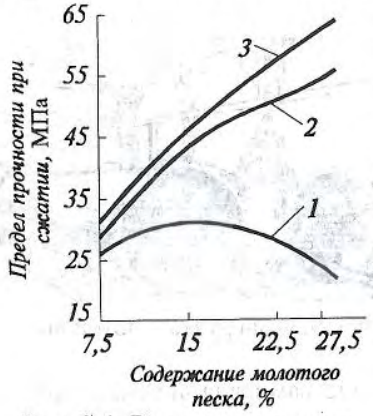


Рис. 9.4. Влияние тонкости помола и содержания кварцевого песка на прочность силикатного бетона:
1 - удельная поверхность молотого песка 1500 $см^2/г$; 2 - то же, 2500 $см^2/г$; 3 - то же, 4500 $см^2/г$

Изготовление бетонных и железобетонных изделий включает приготовление известково-кремнеземистого вяжущего, приготовление и гомогенизацию силикатнобетонной смеси, формование изделий, автоклавную обработку. В процессе автоклавизации между всеми компонентами бетона имеют место химические взаимодействия.

Заполнитель (в особенности кварцевый песок) участвует в синтезе новообразований, подвергаясь изменениям на глубину до 15 мкм.

Тяжелый силикатный бетон плотностью 1800-2500 $кг/м^3$ с прочностью 15-80 МПа применяют для изготовления сборных бетонных и железобетонных конструкций, в том числе предварительно напряженных.

Силикатный кирпич

Силикатный кирпич изготовляется из жесткой смеси кварцевого песка (92-94%), извести (6-8%, считая на активную CaO) и воды (7-9%) путем прессования под давлением (15-20 МПа) и последующего твердения в автоклаве.

Цвет силикатного кирпича светло-серый, но он может быть любого цвета путем введения в состав смеси щелочестойких пигментов. Выпускают кирпич двух видов: одинарный 250x120x65 мм и модульный 250x120x88 мм. Модульный кирпич изготовляют с пустотами, чтобы масса одного кирпича не превышала 4,3 кг.

В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич имеет марки: 100, 125, 150, 200 и 250.

Плотность силикатного кирпича (без пустот) - около 1800-1900 $кг/м^3$, т.е. он немного тяжелее обыкновенного глиняного кирпича, теплопроводность - 0,70-0,75 Вт/(м·°С), водопоглощение лицевого силикатного кирпича не превышает 14%, а рядового - 16%. Марки по морозостойкости для лицевого кирпича: 25, 35, 50; для рядового -15.

Силикатный кирпич, как и глиняный, применяют для несущих стен зданий. Не рекомендуется его применять для цоколей зданий из-за недостаточной водостойкости. Для кладки труб и печей силикатный кирпич не используют, так как при высокой температуре дегидратируется $Ca(OH)_2$, разлагается $CaCO_3$ и гидросиликаты кальция, а зерна кварцевого песка при 600°С расширяются и вызывают растрескивание кирпича.

На производство силикатного кирпича расходуется меньше тепла, поскольку не требуется сушка и высокотемпературный обжиг, поэтому он на 30-40% дешевле глиняного кирпича.

Схема производства силикатного кирпича показана на рис. 9.5.

Комовую известь-кипелку, поступающую из известеобжигательной печи, сортируют, чтобы удалить недожог и пережог, затем дробят и размалывают в тонкий порошок. При этом воздушным сепаратором отделяются наиболее тонкие частицы. Повышение тонкости помола извести также сокращает ее расход.

Гасить известь в смеси с песком можно в силосах в течение 8-9 ч (первый способ) или, что гораздо быстрее и интенсивнее, в гасильных барабанах (второй способ). Последний представляет собой металлический цилиндр, по концам имеющий форму усеченных конусов, который вращается вокруг горизонтальной оси. При помощи дозирующего аппарата песок дозируют по объему, а известь - по весу, а затем засыпают через герметически закрывающийся люк в гасильный барабан. После загрузки барабан вращают, впускают пар и гасят известь под давлением 0,3-0,5 МПа. Перед прессованием известково-песчаную смесь перемешивают в лопастной мешалке или на бегунах и дополнительно увлажняют (до 7%).

Прессуют кирпич на прессах под давлением до 150-200 $кг/см^2$. Применяемые на заводах пресса имеют периодически вращающийся стол с устроенными в нем формами. Прессование производится снизу

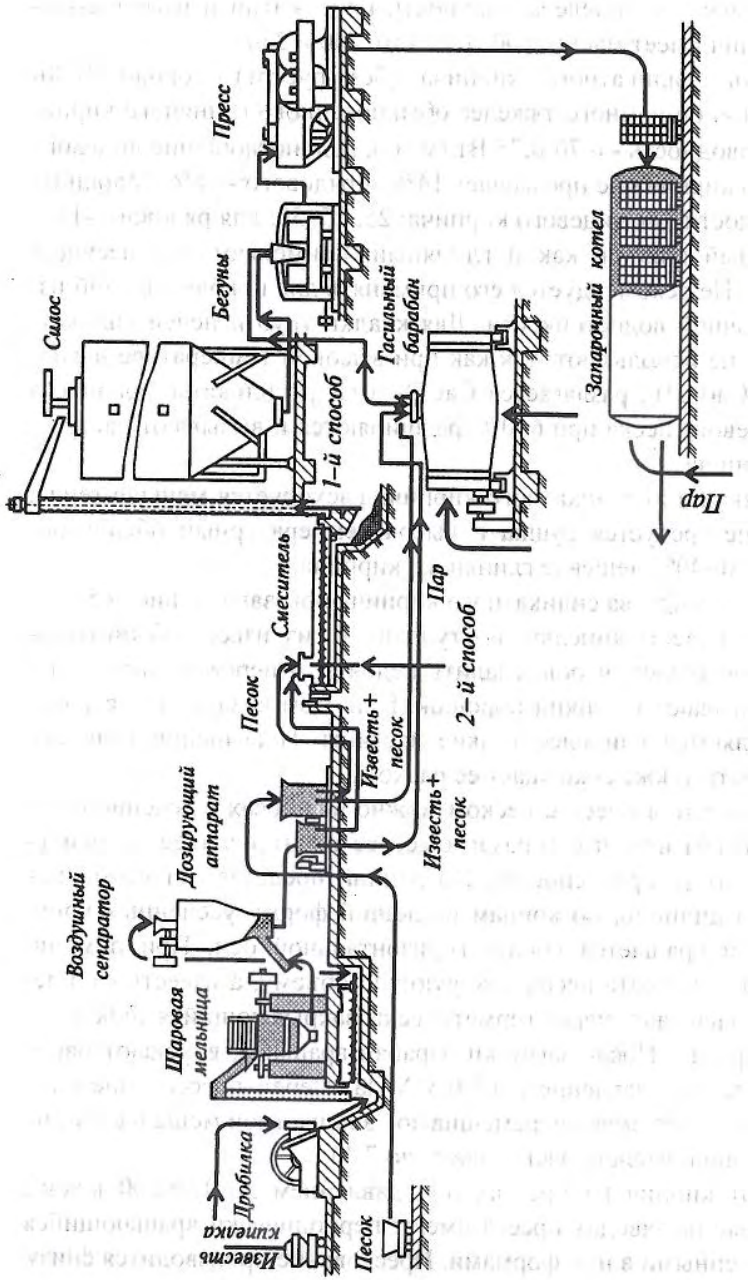


Рис. 9.5. Схема производства силикатного кирпича

вверх при помощи рычажного механизма. Спрессованный кирпич-сырец получает высокую плотность, что способствует более полному прохождению реакции между известью и кварцевым песком. Производительность различных типов прессов, зависящая от их конструкции, колеблется в пределах 2200-3000 кирпичей в 1 ч.

Отформованные кирпичи снимают со стола пресса, осторожно укладывают на вагонетки и отправляют в автоклавы для твердения.

Прочность силикатного кирпича продолжает повышаться и после запаривания его в автоклаве. Это объясняется тем, что часть извести, не вступившей в химическое взаимодействие с кремнеземом, реагирует с углекислотой воздуха, т.е. происходит карбонизация:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

Прочность, водостойкость и морозостойкость силикатного кирпича увеличиваются также при его высыхании.

Известково-шлаковый и известково-зольный кирпич

Известково-шлаковый кирпич изготовляют из смеси извести и гранулированного доменного шлака. Извести берут 3-12% по объему, шлака - 88-97%.

При замене шлака золой получается **известково-зольный кирпич**. Состав смеси: 20-25% извести и 80-75% золы. Так же как и шлак, зола является дешевым сырьем, образующимся в больших количествах после сжигания топлива (каменного угля, бурого угля и др.) в котельных ТЭЦ, ГРЭС и др.

В процессе сгорания пылевидного топлива часть очаговых остатков оседает в топке (зола-шлак), а самые мелкие частицы золы уносятся в дымоходы, где задерживаются золоуловителями, а затем их транспортируют за пределы котельной - в золоотвалы. Наиболее тонкодисперсные золы называют *золами-уноса.*

При смешивании с водой золы не твердеют, однако при добавках извести или портландцемента они активизируются, а запаривание смеси в автоклавах дает возможность получать из них изделия достаточной прочности.

При сжигании некоторых горючих сланцев (например, средневолжских) образуются золы, содержащие окиси кальция 15% и более,

которые имеют способность твердеть без добавок извести. Кирпич из этих зол называют *сланце-зольным*.

Использование шлаков и зол очень выгодно, так как при этом снижается стоимость строительных материалов.

Известково-шлаковый и известково-зольный кирпичи формуют на тех же прессах, которые применяют при производстве силикатного кирпича, и запаривают в автоклавах.

Плотность шлакового и зольного кирпичей - 1400-1600 кг/м^3, теплопроводность - 0,5-0,6 Вт/(м°С). По пределу прочности при сжатии шлаковый и зольный кирпичи разделяют на три марки: 75, 50 и 25. Морозостойкость известково-шлакового кирпича такая же, как и силикатного, а известково-зольного - ниже.

Известково-шлаковый и известково-зольный кирпичи применяют для возведения стен зданий высотой не более трех этажей и для кладки верхних этажей многоэтажных зданий.

Изделия из пеносиликата и других ячеистых материалов

Пеносиликат - это искусственный каменный материал ячеистый структуры, который получается в результате затвердевания пластичной известково-песчаной смеси, смешанной с технической пеной.

Материал, полученный смешиванием того же раствора с газообразователем (алюминиевой пудрой, пергидролем и др.), называют **газосиликатом.**

Для производства пеносиликата рекомендуется применять молотую известь-кипелку, содержащую активный CaO не менее 70%. Чем выше активность извести и тоньше помол, тем меньше ее требуется для приготовления пеносиликата. Обычно извести берут 15-20% от веса сухой смеси. Кроме кварцевого песка, в качестве заполнителей можно использовать доменный гранулированный шлак, золу электростанций, маршалит, трепел, диатомит и другие заполнители, содержащие большое количество кремнезема.

В процессе производства пеносиликата известь и заполнитель подвергают совместному или раздельному помолу. При раздельном помоле компонентов известь и заполнитель измельчают в трубных, шаровых мельницах, а при совместном помоле - в дезинтеграторах. Песок сначала измельчают в них с гашеной известью, которой берут

25-30% от общего количества вводимой извести, а остальную часть извести добавляют в виде молотой извести-кипелки.

Дальнейший этап производства пеносиликатных изделий заключается в приготовлении ячеистой смеси. Ячеистую смесь приготовляют путем смешивания известково-песчаного раствора с устойчивой пеной в пенобетономешалках.

Готовую ячеистую смесь выливают из смесительного барабана пенобетономешалки в бункер, а затем разливают в формы, соответствующие профилю и размерам будущего изделия. После 6-8 часовой выдержки (частичного отвердения) формы с полузатвердевшей смесью транспортируют в автоклавы для запаривания.

Пеносиликатные изделия изготовляют плотностью от 300 до 1200 кг/м^3 и прочностью в пределах 0,4-20 МПа.

Из теплоизоляционного пеносиликата изготовляют термовкладыши, которые используют для утепления стен; плиты, скорлупы и короба - для ограждения теплопроводов и другие теплоизоляционные изделия. Для кладки несущих стен одно-, двухэтажных зданий применяют мелкие офактуренные неармированные блоки плотностью 600-700 кг/м^3.

Для защиты блоков от атмосферных воздействий в процессе эксплуатации наружная поверхность изделий покрывается облицовочным слоем из цементно-песчаного раствора толщиной 2-3 см, который укладывается на дно формы перед заливкой ячеистой смеси.

Конструктивно-теплоизоляционный пено- и газосиликат применяют теперь также для изготовления крупноразмерных изделий для наружных и внутренних стен, покрытий промышленных сооружений, междуэтажных и чердачных перекрытий жилых зданий, перегородок и др.

Для покрытий промышленных зданий изготовляют армопеносиликатные и армогазосиликатные прямоугольные плиты.

Армопеносиликатные плиты по сравнению с обычными железобетонными не требуется теплоизолировать и в то же время они достаточно прочны и долговечны. Укладывают их по железобетонным или металлическим прогонам, а сверху покрывают гидроизоляционными рулонными материалами.

Плотность пеносиликата 900-1100 кг/м^3, предел прочности его при сжатии 6-10 МПа (см. гл. X, § 8).

§ 4. Материалы на основе цемента

Асбоцементные изделия

Асбоцемент - искусственный композиционный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, асбеста (10-20% от массы цемента) и воды. Такой материал обладает высокой прочностью, огнестойкостью, долговечностью, малыми водонепроницаемостью, теплопроводностью и электропроводностью. Из асбестового волокна в глубокой древности вырабатывали несгораемые фитили для светильников, одежду для жрецов. Изготовление асбестовых тканей было известно в Древней Греции, Китае, Индии, Иудее.

Асбоцементная промышленность возникла в начале XX столетия, когда чешский изобретатель Людвиг Гачек, подав в бумагоделательную машину массу, состоящую из смеси асбеста, цемента и воды, получил в ней первый асбоцемент. В России первый завод асбестоцементных изделий был пущен в 1908 г., в г.Брянске. Постоянное расширение производства и применения асбоцементных изделий является устойчивой традицией отечественной промышленности строительных материалов и строительства, обусловленной прежде всего наличием уникальных запасов асбеста в России, на Урале.

В последние годы в мировой практике наметилась тенденция, ставящая под сомнение не только целесообразность развития асбестоцементной промышленности, но и само ее существование, в связи с распространяющимися сведениями о канцерогенности асбеста. В ряде стран запрещено использование асбестоцемента в строительстве, особенно во внутренних помещениях зданий в непосредственном контакте с деятельностью человека. Ряд организаций различных стран объясняют распространение подобных сведений конкурентной борьбой на мировом рынке. Учитывая эти обстоятельства, с одной стороны, ведутся поиски альтернативных волокон, с другой, - разрабатываются технологии по дальнейшему совершенствованию отрасли.

Сырьевые материалы для производства асбоцементных изделий

Портландцемент. В качестве вяжущего для производства асбестоцемента применяют портландцемент марок 400 и 500, песчанистый портландцемент при автоклавном твердении полуфабриката, белый и цветные цементы при изготовлении декоративных изделий. По минералогическому составу портландцемент должен быть алитовым (с содержанием трехкальциевого силиката не менее 52%). Содержание трехкальциевого алюмината должно быть не более 8%, так как он придает малую прочность и низкую морозостойкость асбестоцементным изделиям. Тонкость помола цемента должна быть в пределах удельной поверхности 2900-3200 $см^2/г$. Песчанистый портландцемент получают совместным помолом портландцементного клинкера; кварцевого песка (до 45%) и гипса. Помол компонентов может быть и раздельным с последующим их смешением. Тонкость помола должна быть до удельной поверхности 3200-3600 $см^2/г$. Применение этого вяжущего позволяет обеспечивать существенную экономию клинкера. Портландцементы, применяемые для производства изделий способом экструзии, кроме соответствия указанным требованиям, не должны содержать более 0,3% быстрорастворимых щелочей.

Асбестом называют природный тонковолокнистый минерал, состоящий из водных или безводных силикатов магния, а некоторые разновидности - из силикатов кальция и натрия. 95% мировой добычи асбеста составляет хризотил - асбест ($3MgO{\cdot}2SiO_2{\cdot}2H_2O$), который и применяется для производства асбестоцементных изделий. Диаметр волокон асбеста 1 мкм, однако при гидромеханической обработке асбестовый камень расщепляется до среднего диаметра волокон 0,02 мм.

Хризотил-асбест имеет очень высокую прочность при растяжении вдоль волокнистости - до 3000 МПа (выше прочности стали). При распушке асбеста часть волокон разрушается и прочность при растяжении распушенного волокна составляет 600-800 МПа. Введение гибких волокон в качестве армирующего компонента в цемент (10-20%) позволяет в 3-5 раз увеличить прочность цементного камня при растяжении и изгибе, а также стойкость к ударным воздействиям.

Асбест обладает большой адсорбционной способностью. При смешивании асбеста с портландцементом и водой он адсорбирует выделяющийся при твердении цемента $Ca(OH)_2$ и другие продукты гидратации клинкерных минералов.

Товарный асбест производится 8-ми сортов (от 0 до 7) и 42 марок. Чем больше средняя длина волокон, тем выше сорт. Для производства асбоцементных изделий применяется коротковолокнистый асбест -

3, 4, 5 и 6-го сортов с длиной волокон 0,3-10 мм. Иногда часть асбеста (10-15%) заменяют базальтовой стеклянной или шлаковой минеральной ватой. Могут применяться и органические волокна - небеленая целлюлоза, вторичная крафт-целлюлоза, бумажная макулатура, древесная шерсть, синтетические волокна. Замена части асбеста этими волокнами позволяет до 15% увеличить ударную вязкость асбестоцемента.

Вода для производства асбестоцемента не должна содержать органических и глинистых примесей. Нельзя использовать болотную, торфяную, морскую и другую минерализованную воду. Минеральные примеси и растворимые соли не должны превышать допустимые для питьевой воды нормы.

Производство асбестоцементных изделий

Способы производства асбестоцементных изделий в зависимости от количества воды, которое используется при их изготовлении, подразделяются на: мокрый, полусухой и сухой. При мокром способе изделия формуют, используя асбестоцементные суспензии, содержащие 8-16% асбеста и цемента и 92-84% воды. При полусухом способе изделия получают из концентрированной сметанообразной массы, содержащей 20-40% воды. При сухом способе производство изделий осуществляется из увлажненной асбестоцементной смеси с содержанием воды 12-16%. В технологии производства асбестоцементных изделий имеются технологические операции, которые производятся при всех способах: приготовление шихты асбеста, распушка асбеста, смешение его с цементом и водой, формование изделий, их твердение, механическая обработка.

Приготовление шихты заключается в составлении смеси асбеста нескольких марок с тем, чтобы при формовании обеспечить высокую фильтрующую способность, плотность и водоудержание асбестоцементных масс.

Распушка асбеста производится в два этапа: обминание пучков асбеста на бегунах или валковых машинах и затем расщепление размятых пучков на отдельные волокна в голлендерах или гидропушителях при мокром способе и в дезинтеграторах при мокром, полусухом и сухом способах производства изделий.

Приготовление асбестоцементных смесей производится в зависимости от способов производства в различных устройствах.

Асбестоцементная суспензия производится в голлендерах или турбосмесителях, куда подается асбестовая суспензия после гидравлической распушки, цемент и дополнительное количество воды до содержания ее в суспензии 97-86%. Асбестоцементные смеси для полусухого и сухого способа производства изделий получают двухстадийным перемешиванием: вначале в смесителе сухих компонентов, затем в бетоносмесителе циклического действия с добавлением воды.

Формование изделий. Сущность формования изделий состоит в отфильтровании воды из асбестоцементной массы до необходимого уплотнения и придания ей заданных формы и размеров. При мокром способе производства формование листовых изделий производится получением цилиндрических пластичных асбестоцементных полуфабрикатов с использованием круглосетчатых машин (рис. 9.6), а затем прессования или волнирования на прессах и беспрокладочных волнировщиках.

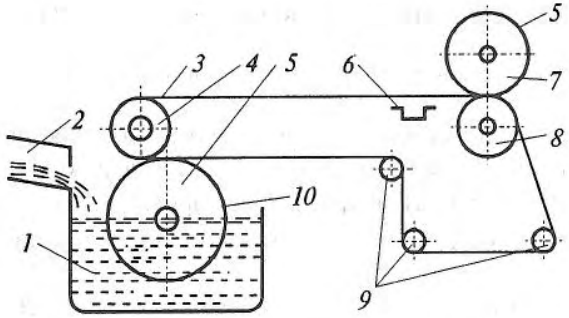


Рис. 9.6. Схема формовочной машины для производства асбестоцементных изделий
1 - металлическая ванна; 2 - желоб подачи асбестоцементной массы; 3 - лента конвейера; 4 - прижимной вал; 5 - слой асбестоцементной массы; 6 - вакуум-коробка; 7 - форматный барабан; 8 - ведущий вал; 9 - натяжной валик; 10 - барабан, обтянутый металлической сеткой

Твердение асбестоцементных изделий, как правило, осуществляется в две стадии: предварительное твердение до набора прочности, обеспечивающей дальнейшее бездефектное внутризаводское транспортирование и окончательное.

Предварительное твердение изделий после выдержки при нормальных условиях в течение 6-8 часов осуществляется в пропарочных

камерах при температуре 50-60°С в течение 12-16 часов. Предварительное твердение труб и других изделий может осуществляться и в бассейнах с водой при температуре не ниже 20°С в течение 3-8 суток. Окончательное твердение изделий на портландцементе производится в закрытых помещениях (теплых складах) при нормальных условиях в течение не менее 7 суток. Окончательное твердение изделий на песчанистом цементе производится в автоклавах при давлении пара 0,8 МПа и температуре 172-174°С в течение 12-16 часов.

Механическая обработка изделий производится после предварительного или окончательного их твердения и включает операции: обрезка кромок листов, обрезка труб по торцам и обтачивание концов напорных труб со снятием фаски.

Основные виды асбестоцементных изделий

Основные виды асбестоцементных изделий включают: кровельные, стеновые, декоративные, погонажные трубы и специальные.

Кровельные изделия

К кровельным асбестоцементным изделиям относятся: волнистые листы различного профиля и фасонные детали к ним, крупноразмерные плоские листы для плит покрытий, армированный конструктивный настил, панели экструзионные, плитки для кровли малоэтажных зданий.

Волнистые листы (рис. 9.7, а) составляют около 90% общего объема производства листовых изделий, а они в балансе кровельных материалов составляют 38-40%. Волнистые листы производятся обыкновенного, унифицированного, среднего, высокого профилей.

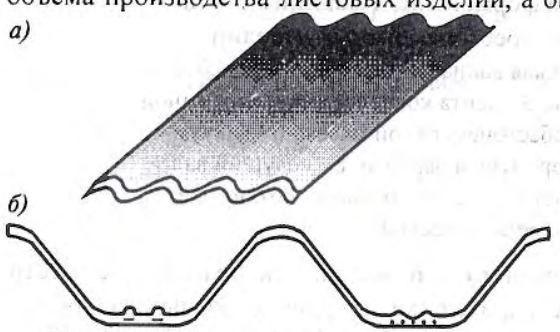


Рис.9.7. Асбестоцементные кровельные изделия:
а) волнистый лист обыкновенного профиля;
б) армированный настил

Размеры и свойства листов в зависимости от типов меняются в пределах: длина 1200-3300 мм, шаг волны 115-350 мм, предел

прочности при изгибе 16-24 МПа, масса изделия - 9 - 98 кг.

В настоящее время в основном производят волнистые листы длиной 1750 мм, типов 40/150 и 54/200 - 6 (высота волны/длина волны - толщина) для кровли жилых и сельскохозяйственных зданий; типа 54/200 -7,5- для кровли промышленных и сельскохозяйственных производственных зданий и сооружений. Для малоэтажного строительства и индивидуальной застройки предусматривается выпуск листов длиной 1250 мм типов 30/130- и 40/150, а для перекрытия 3-метровых пролетов промышленных зданий - листы ВК, длиной 3300 мм типа 145/350.

Фасонные детали к волнистым листам выпускаются: коньковые с волнистой поверхностью, коньковые упрощенные, переходные и угловые детали.

Крупноразмерные плоские листы для плит покрытий выпускаются размерами: длина - 2000-3600 мм; ширина 1200-1500 мм, толщина 4-12 мм.

Конструктивный армированный настил (рис. 9.7, б) применяется для перекрытия 9-метровых пролетов сельскохозяйственных производственных зданий, стальная арматура размещена в растянутой зоне в виде полос прямоугольного сечения (вариант 1) или крупных стержней (вариант 2).

Панели экструзионные асбестоцементные применяются для устройства бесчердачных покрытий промышленных зданий под рулонную кровлю с сухим и нормальным режимом эксплуатации и для подвесных потолков.

Панели высотой 120-180 мм применяются для кровли, а высотой 80 мм - для подвесных потолков. Панели шириной 595 мм - основные, а шириной 295 мм - доборные.

Панели для бесчердачных покрытий изготовляются коробчатого типа и из отдельных плоских и профилированных листов в виде трехслойных конструкций с внутренним теплоизоляционным слоем. В зависимости от назначения предусматривают два типа плит: рядовые АП и краевые АПК. Длина плит 1500-3000 мм, высота 120 мм, ширина АП - 700 мм, АПК - 347 мм.

Плитки кровельные асбестоцементные плоские (рис. 9.8) предназначены для малоэтажных сельских зданий и индивидуального строительства. Наиболее применяемый размер 400х400 мм с двумя срезанными углами. Обрезанные углы у плиток позволяют образовать плотное покрытие кровли при минимальном их расходе (10 шт.

на 1 м^2). При использовании плиток без срезанных углов кровля может быть образована только при двухслойном покрытии. Плитки укладываются по сплошной или разреженной обрешетке оцинкованными гвоздями и противоветровой кнопкой. Предел прочности плиток при изгибе 24 МПа, а морозостойкость 50 циклов.

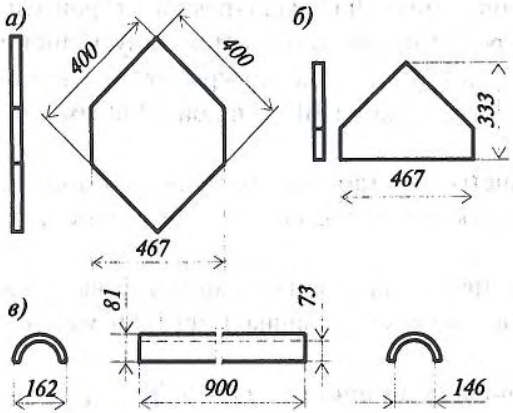


Рис. 9.8. Плитка кровельная асбестоцементная:
а) рядовая;
б) краевая,
в) коньковая деталь

Стеновые изделия

К стеновым асбестоцементным изделиям относятся: волнистые листовые, плоские крупноразмерные листы, панели и плиты экструзионные, панели стеновые наружные на деревянном и асбестоцементном каркасах.

Волнистые листы при длине 2,5 м являются эффективными изделиями для стеновых ограждающих конструкций не отапливаемых промышленных зданий. К ним относятся листы профиля 40/150 и листы среднеевропейского профиля 51/177.

Плоские крупноразмерные листы (длина 2000-3000 мм, ширина 1200-1500 мм, толщина 4-12 мм) применяются в качестве обшивок трехслойных стеновых панелей и для изготовления конструкций перегородок.

Панели и плиты экструзионные - изделия длиной до 6 м, шириной до 750 мм и высотой 60-180 мм изготовляются с утеплителем и без него и применяются как стеновые конструкции и перегородки (рис. 9.9). В качестве утеплителя применяют полужесткие минераловатные плиты. Стеновые экструзионные изделия, производимые фирмой "Джонс Мэнвилл" (США) имеют долговечное покрытие широкой цветовой гаммы на основе акриловых смол.

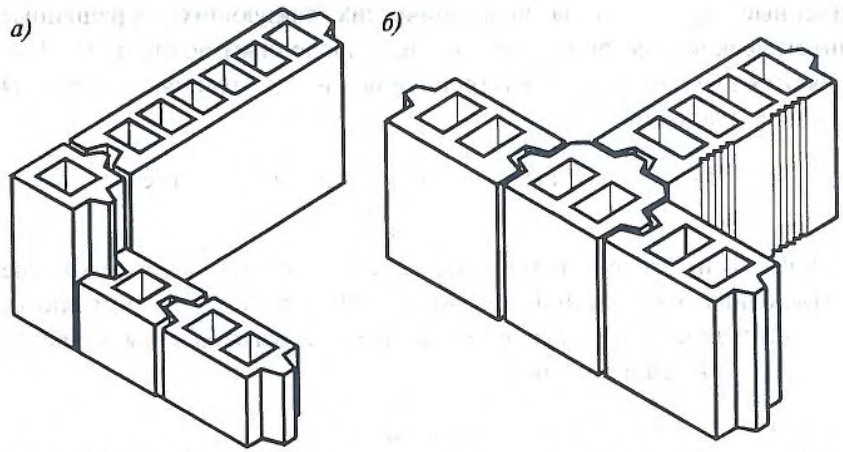


Рис. 9.9. Асбестоцементные экструзионные панели перегородок:
а) угловые; *б*) переходные

Панели асбестоцементные стеновые наружные на деревянном каркасе с утеплителем предназначены для наружных стен надземной части полносборных жилых домов и домов из монолитного бетона, а в кирпичных домах - для стен лоджий.

Размеры панелей по длине 2980 и 5980 мм, по высоте 2780 мм и 3280 мм. Толщина панелей 160 и 210 мм. Наружные поверхности листов могут быть гладкими или рельефными, иметь естественный серый или белый (на белом цементе) цвет, а также цвет, создаваемый защитно-декоративным покрытием.

Декоративные изделия

Декоративные изделия могут быть офактуренными либо окрашенными в процессе формования (до твердения) и в затвердевшем виде.

К первой группе относятся листовые изделия с рельефной поверхностью; окрашенные по всей толщине, либо с окрашенным поверхностным слоем белыми и цветными цементами, минеральными красками, синтетическими красителями, а также с помощью цветных посыпок (окрашенного песка, стеклокрошки и т.п.). Такие листы могут иметь как простые продольно-погонажные рисунки рельефа 1,5-2,5 мм, так и сложные рисунки. Листы с рельефной поверхностью

применяются для ограждения балконов и лоджий, устройства летних павильонов, облицовки лестничных клеток и вестибюлей.

Вторая группа декоративных листов разделяется на три вида: окрашенные составами на неорганических связующих; окрашенные синтетическими эмалями и красками, с пленочным покрытием. Применяются для наружной и внутренней облицовки здания, ограждения балконов и лоджий.

Погонажные асбестоцементные изделия

Погонажные асбестоцементные изделия - швеллеры, подоконные плиты, сливы, раскладки и элементы парапетов изготовляются способом экструзии. Швеллеры применяются для изготовления каркасов стеновых панелей и плит покрытий.

Трубы

Асбестоцементные трубы составляют около 10% в общем балансе труб, применяемых в строительстве, и выпускаются напорные и безнапорные. Напорные трубы применяют для водопроводов и изготовляются с рабочим давлением 0,6-1,8 МПа классов: ВТ6, ВТ9, ВТ12, ВТ15 и ВТ18. Трубы ВТ имеют длину от 3 до 6 м и диаметр условного прохода 100-500 мм.

Безнапорные трубы БНТ применяются для нефте- и газопроводов, канализации, дренажа, мусоропроводов, прокладки телефонных кабелей и устройства дымовых и вентиляционных каналов. Газопроводные трубы применяют для сетей с давлением газа не более 0,5 МПа. В настоящее время производятся трубы с газонепроницаемыми полимерными покрытиями. Капитальные вложения и эксплуатационные расходы по газопроводу из асбестоцементных труб на единицу транспортируемого газа уменьшаются в 3 раза, по сравнению с газопроводом из стальных труб. Трубы комплектуются асбестоцементными или чугунными муфтами.

Специальные асбестоцементные изделия

Вентиляционные короба изготовляются с раструбами и без них и применяются для устройства вентиляции и кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения. Короба изготовляют длиной

3,1 м с внутренним сечением от 150х150 до 300х300 мм, толщина стенок 10 мм.

К специальным изделиям относятся и другие изделия: полуцилиндры для покрытий теплоизоляционных слоев на трубопроводах, электроизоляционные доски, а также крупногабаритные листы двоякой кривизны длиной до 5 м для летних домиков.

Утилизация отходов производства

В производстве асбестоцементных изделий образуются отходы в виде влажной смеси асбеста и цемента, оседающей в отстойниках при очистке сбрасываемой в них воды из рекуператоров, а также брак изделий и обрезки, получаемые при их механической обработке. В целом отходы могут составлять по объему 1-8% исходного сырья и используются: вторично в производстве изделий при введении их в малых дозах в суспензии, в производстве минеральной ваты, стеновых блоков, в производстве погонажных асбестоцементных экструзивных изделий (15-20% взамен цемента).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое автоклав и какие процессы происходят при автоклавной обработке?
2. В результате чего образуется прочность силикатного кирпича? Его основные свойства.
3. Что такое пеносиликат и газосиликат?
4. Какие изделия получают на основе гипсового вяжущего, какими свойствами они обладают?
5. Назовите основные свойства асбестоцементных изделий.

Дополнительная литература

1. *Волженский А. В.* и др. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. - М: Стройиздат, 1971.
2. *Ферронская А.В.* Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. - М.: Стройиздат, 1984.
3. *Алтыкис М.Б., Рахимов Р.З.* Гипс. Строительные материалы и изделия. - Казань.: КИСИ, 1994.
4. *Берней И.И., Колбасов В.М.* Технология асбоцементных изделий. - М.: Стройиздат, 1985.
5. *Боженов П.И.* Технология автоклавных материалов. - Л.: Стройиздат, 1978.

6. *Рыбьев И.А.* Строительные материалы на основе вяжущих веществ. - М., 1978.

7. *Волженский А.В.* и др. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. - М., 1984.

Глава X. БЕТОНЫ

§ 1. Общие сведения

Бетон на неорганических вяжущих веществах представляет собой **композиционный** материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок. Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

Бетон является главным строительным материалом, который применяют во всех областях строительства. Технико-экономическими преимуществами бетона и железобетона являются: низкий уровень затрат на изготовление конструкций в связи с применением местного сырья, возможность применения в сборных и монолитных конструкциях различного вида и назначения, механизация и автоматизация приготовления бетона и производства конструкций. Бетонная смесь при надлежащей обработке позволяет изготавливать конструкции оптимальной формы с точки зрения строительной механики и архитектуры. Бетон долговечен и огнестоек, его плотность, прочность и другие характеристики можно изменять в широких пределах и получать материал с заданными свойствами. Недостатком бетона, как любого каменного материала, является низкая прочность на растяжение, которая в 10-15 раз ниже прочности на сжатие. Этот недостаток устраняется в железобетоне, когда растягивающие напряжения воспринимает арматура. Близость коэффициентов температурного расширения и прочное сцепление обеспечивают совместную работу бетона и стальной арматуры в железобетоне, как единого целого. Это основное свойство железобетона как композиционного материала. В силу этих преимуществ бетоны различных видов и железобетонные конструкции из них являются основой современного строительства.

По **виду вяжущего** бетоны разделяют на: цементные (наиболее распространенные), *силикатные* (известково-кремнеземистые), *гипсовые*, *смешанные* (цементно-известковые, известково-шлаковые и т.п.), *специальные* - применяемые при наличии особых требований (жаростойкости, химической стойкости и др.).

По **виду заполнителя** различают бетоны на: плотных, пористых, *специальных* заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (защиты от излучений, жаростойкости, химической стойкости и т.п.).

В правильно подобранной бетонной смеси расход цемента составляет 8-15%, а заполнителей - 80-85% (по массе). Поэтому в виде заполнителей применяют местные каменные материалы: песок, гравий, щебень, а также побочные продукты промышленности (например, дробленные и гранулированные металлургические шлаки), характеризующиеся сравнительно невысоким уровнем издержек производства.

В зависимости от **плотности** различают бетоны: *особо тяжелые* -плотностью более 2500 кг/м^3, изготовляемые на особо тяжелых заполнителях (из магнетита, барита, чугунного скрапа и др.); эти бетоны применяют для специальных защитных конструкций; *тяжелые* - плотностью 2200-2500 кг/м^3 на песке, гравий или щебне из тяжелых горных пород; применяют во всех несущих конструкциях; *облегченные* - плотностью 1800-2200 кг/м^3; их применяют преимущественно в несущих конструкциях; *легкие* - плотностью 500-1800 кг/м^3; к ним относятся: а) легкие бетоны на пористых природных и искусственных заполнителях; б) ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон) из смеси вяжущего, воды, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и порообразователя; в) крупнопористые (беспесчаные) бетоны на плотном или пористом крупном заполнителе - без мелкого заполнителя; *особо легкие* (ячеистые и на пористых заполнителях) - плотностью менее 500 кг/м^3, используемые в качестве теплоизоляции.

Легкие бетоны менее теплопроводны по сравнению с тяжелыми, поэтому их применяют преимущественно в наружных ограждающих конструкциях. В несущих конструкциях используют более плотные и прочные легкие бетоны (на пористых заполнителях и ячеистые) плотностью 1200-1800 кг/м^3.

Следовательно, плотность бетонов изменяется в широких пределах: от 400 до 2500 кг/м^3 и более. Поэтому и пористость бетонов мо-

жет быть очень большой - 70-85% у ячеистых теплоизоляционных бетонов и незначительной - 8-10% у плотных гидротехнических бетонов.

§ 2. Тяжелый бетон

Материалы для изготовления бетона

Цемент. Для тяжелого бетона применяют портландцемент и его разновидности, а также глиноземистый цемент и другие вяжущие, отвечающие требованиям соответствующих ГОСТов.

Марку цемента назначают в зависимости от проектной марки бетона по прочности при сжатии:

Марка бетона	М150	М200	М250	М300	М350	М400	М450	М500	М600 выше
Марка цемента	М300	М300 М400	М400	М400 М500	М400 М500	М500 М600	М550 М600	М600	М600

Если марка цемента выше той, которая рекомендуется для данного бетона, то надо разбавить высокоактивный цемент тонкомолотой активной добавкой, чтобы избежать перерасхода высокомарочного цемента.

Мелкий заполнитель. В качестве мелкого заполнителя в тяжелом бетоне применяют песок, состоящий из зерен размером 0,16-5 мм и имеющий плотность более 1,8 г/см^3. Для приготовления тяжелых бетонов применяют природные пески, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород, а также искусственные, полученные путем дробления твердых горных пород и из отсевов.

Природные пески представляют рыхлую смесь зерен различных минералов, входивших в состав изверженных (реже осадочных) горных пород (кварца, полевого шпата, кальцита, слюды и др.).

Качество песка, применяемого для изготовления бетона, определяется минеральным составом, зерновым составом и содержанием вредных примесей.

Заполнитель должен состоять из зерен разного размера (разных фракций), при этом количество крупных, средних и мелких зерен (т.е. зерновой состав заполнителя) устанавливается на основе проверенных рекомендаций таким образом, чтобы зерна меньшего размера

располагались в пустотах между крупными. Чем компактнее расположены зерна заполнителей, тем меньше объем пустот.

Зерновой (гранулометрический) состав песка определяют просеиванием высушенной средней пробы (1000 г) через стандартный набор сит с размерами отверстий 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Мелкие частицы песка (пыль) имеют размер менее 0,16 мм. В песке зерен гравия от 5 до 10 мм допускается не более 5%, зерен крупнее 10 мм - не должно быть. Сначала вычисляют частный остаток на каждом сите (%), как отношение массы остатка к массе просеиваемой пробы.

Затем определяют полный остаток (%) на каждом сите как сумму частных остатков на данном сите и на всех ситах крупнее данного.

Зерновой состав песка удобно представить графически, если по горизонтали отложить размеры отверстий сит, а по вертикали - полные остатки на ситах. На рис. 10.1 в виде заштрихованной области указаны допустимые пределы колебаний зернового состава песков для бетона.



Рис. 10.1. График зернового состава песка (заштрихована область песков, допускаемых для бетона)

Для оценки крупности песка применяют безразмерный показатель - модуль крупности, который вычисляют как отношение суммы полных остатков на ситах, ко всей пробе, принятой за 100.

В зависимости от зернового состава песок разделяют на крупный, средний, мелкий. Для каждой группы песка показатели должны соответствовать величинам, указанным в табл. 10.1.

Мелкие частицы (пыль, ил, глина) увеличивают водопотребность бетонных смесей и расход цемента в бетоне. Поэтому содержание в песке зерен, проходящих через сито 0,16 мм, должно быть не более 10% по массе, при этом количество пылевидных, илистых и глинистых частиц, определяемых отмучиванием, не должно превышать 3%. Глина набухает при увлажнении и увеличивается в объеме при замерзании, снижая морозостойкость. Поэтому содержание глины в песке

строго ограничивается, тем более не должно быть комков глины и суглинка.

Песок очищают от мелких частиц путем промывки.

Таблица 10.1

Классификация песков по крупности

Группа песков	Полный остаток на сите с сеткой 0,63 мм, %	Модуль крупности
Крупный	50-75	3,5-2,5
Средний	35-50	2,5-2
Мелкий	20-35	2-1,5

В природном песке и в гравии могут содержаться органические примеси (например, продукты разложения остатков растений), в частности, органические гумусовые кислоты, которые понижают прочность бетона и даже разрушают цемент. Наличие органических примесей определяют колориметрическим (цветовым) методом. Песок считают пригодным для бетона, если жидкость - 3%-ный раствор NaOH над песком - не окрашивается или приобретает окраску светлее эталона (эталон имеет светло-желтый цвет).

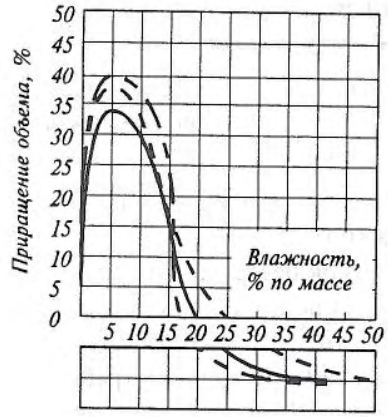


Рис. 10.2. Изменение объема песка при увлажнении (кривые относятся к пескам различного зернового состава)

Песок отличается от крупного заполнителя способностью сильно изменять плотность и объем при изменении влажности (рис. 10.2) от 0 до 25%, что учитывается при объемной дозировке (при приготовлении растворных и бетонных смесей) и приемке песка.

Крупный заполнитель. В качестве крупного заполнителя для бетона применяют гравий, щебень с размером зерен 5-70 мм. При бетонировании массивных конструкций можно применять щебень крупностью до 150 мм.

Зерна гравия имеют окатанную форму и гладкую поверхность. Обычно гравий содержит в том или

ином количестве песок, а также вредные примеси - глину, пыль, слюду, гумусовые вещества (органические примеси).

Щебень получают дроблением изверженных, метаморфических, плотных и водостойких осадочных горных пород (плотных известняков, песчаников и др.). Зерна щебня имеют угловатую форму; желательно, чтобы по форме они приближались к кубу. Более шероховатая, чем у гравия, поверхность зерен способствует лучшему их сцеплению с цементным камнем, поэтому для бетона высокой прочности (М500 и выше) обычно применяют щебень, а не гравий.

Качество крупного заполнителя определяется минеральным составом и свойствами исходной породы (ее прочностью и морозостойкостью), зерновым составом заполнителя, формой зерен и содержанием вредных примесей. Прочность исходной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии должна не менее чем в 1,5-2 раза превышать марку бетона.

В районах с развитой металлургической промышленностью экономически выгодно применять щебень, полученный в результате дробления и рассева тяжелых отвальных или специально отлитых доменных и мартеновских шлаков. Щебень из шлака должен иметь устойчивую структуру. Распад шлака может вызываться гашением зерен свободной извести. Основные доменные шлаки при медленном охлаждении могут распадаться вследствие перехода содержащегося в них двухкальциевого силиката из одной формы в другую. Возможен также "железистый" или "марганцевистый" распад вследствие перехода закисей этих металлов в оксиды с увеличением объема. Щебень из шлака должен удовлетворять общим требованиям в отношении зернового состава. Не допускаются в нем посторонние примеси топливных шлаков и зол, колошниковой пыли и т.д.

Морозостойкость щебня и гравия должна обеспечивать получение проектной марки бетона по морозостойкости. Установлены марки щебня и гравия по морозостойкости от 15 до 300. Марка обозначает число циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором потеря в массе пробы крупного заполнителя не превышает 5% (для марок 15 и 25 допускается потеря массы до 10%).

Зерновой состав крупного заполнителя устанавливают с учетом наибольшего D и наименьшего d размеров зерен щебня или гравия. Наибольший размер зерен при бетонировании железобетонных балок, колонн, рам должен быть не более 3/4 наименьшего расстояния между стержнями арматуры, а для плит перекрытий и покрытий - не более 1/2 толщины плиты.

Наименьшая крупность соответствует размеру отверстия самого мелкого из сит, через которое проходит не более 5% просеиваемой пробы; обычно наименьшая крупность равна 5(3) мм.

В зависимости от крупности зерен щебень, гравий подразделяют на четыре фракции: 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм и 40-70 мм. Щебень, гравий могут поступать в виде смеси двух или большего числа фракций. По соглашению между поставщиком и потребителем может применяться щебень фракций 3-10 мм, 10-15 мм (или 5-15), 15-20 мм. Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций должен находиться в указанных ниже пределах.

Размер контрольных сит	*d*		*0,5(d+D)*		*D*	*1,25D*
	5(3) мм	10 мм и более	для одной	для смеси		
Полный остаток на ситах, % по массе	95-100	90-100	40-80	50-70	0-10	0

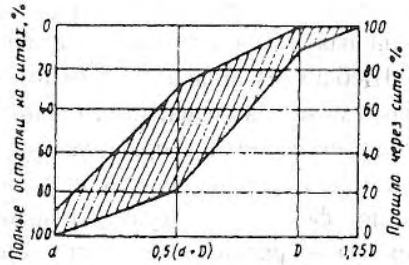


Рис. 10.3. График зернового состава гравия (щебня)

Результаты просеивания пробы обычно наносят на график, где по горизонтали указаны размеры отверстий сит, по вертикали откладывают полные остатки на ситах (рис. 10.3). Данные зернового состава рис. 10.3). График зернового состава должны располагаться по возможности в пределах заштрихованной части.

В зависимости от формы зерен устанавливается три группы щебня из естественного камня: кубовидная, улучшенная и обычная. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в них не превышает соответственно 15, 25 и 35% по массе. К пластинчатым и игловатым зернам относят такие, в которых толщина или ширина меньше длины в 3 и более раза.

Содержание пылевидных и илистых частиц допускается в зависимости от вида исходной горной породы и марки щебня и гравия по прочности. Количество пылевидных, глинистых и илистых частиц, определяемое отмучиванием, в гравий и щебне допускается не более 1%.

Содержание органических примесей в крупном заполнителе проверяют, пользуясь той же методикой, которая применяется для песка. Гравий и щебень при обработке водным раствором едкого натра не должны придавать раствору окраску темнее эталона.

Радиационно-гигиеническая оценка мелкого и крупного заполнителя должна проверяться постоянно на содержание *естественных радионуклеидов.*

Водопотребность является важной технологической характеристикой заполнителя. Зерна заполнителя поглощают воду и адсорбируют ее на своей поверхности, поэтому необходимо регулировать количество воды затворения с учетом "смачивания" заполнителя, чтобы получить нужную удобоукладываемость бетонной смеси.

Вода, применяемая для затворения бетонной смеси и поливки бетона, не должна содержать вредных примесей, препятствующих схватыванию и твердению вяжущего вещества. Для затворения бетонной смеси применяют водопроводную питьевую воду, а также природную воду (рек, естественных водоемов), имеющую водородный показатель pH не менее 4, содержащую не более 5000 мг/л минеральных солей, в том числе сульфатов не более 2700 мг/л (в пересчете на SO_3). Не допускается применять болотные, а также сточные бытовые и промышленные воды без их очистки.

§ 3. Свойства бетонной смеси

Реологические свойства бетонной смеси

Бетонной смесью называют рационально составленную и тщательно перемешанную смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения. Состав бетонной смеси определяют, исходя из требований к самой смеси и к бетону.

По своему строению бетонная смесь представляет единое физическое тело, в котором частицы вяжущего, вода и зерна заполнителя связаны внутренними силами взаимодействия. Основной структурообразующей составляющей в бетонной смеси является цементное тесто. По мере развития процесса гидратации цемента возрастает дисперсность частиц твердой фазы и увеличивается клеящая и связующая способность цементного теста.

Независимо от вида бетона бетонная смесь должна удовлетворять двум главным требованиям: обладать хорошей удобоукладываемо-

стью, соответствующей применяемому способу уплотнения, и сохранять при транспортировании и укладке однородность, достигнутую при приготовлении.

При действии возрастающего усилия бетонная смесь вначале претерпевает упругие деформации, когда же преодолена структурная прочность, она течет подобно вязкой жидкости. Поэтому бетонную смесь называют упруго-пластично-вязким телом, обладающим свойствами твердого тела и истинной жидкости.

Свойство бетонной смеси разжижаться при механических воздействиях и вновь загустевать в спокойном состоянии называется *тиксотропией.*

Технические свойства бетонной смеси

При изготовлении железобетонных изделий и бетонировании монолитных конструкций самым важным свойством бетонной смеси является **удобоукладываемость** (или удобоформуемость), т.е. способность заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя свою однородность. Для оценки удобоукладываемости используют три показателя: подвижность бетонной смеси, являющуюся характеристикой структурной прочности смеси; жесткость (Ж), являющуюся показателем динамической вязкости бетонной смеси; связность, характеризуемую водоотделением бетонной смеси после ее отстаивания.

Подвижность бетонной смеси характеризуется измеряемой осадкой (см) конуса (ОК), отформованного из бетонной смеси, подлежащей испытанию (рис. 10.4, а). Подвижность бетонной смеси вычисляют как среднее двух определений, выполненных из одной пробы смеси. Если осадка конуса равна нулю, то удобоукладываемость бетонной смеси характеризуется жесткостью.

Жесткость бетонной смеси характеризуется временем (с) вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости (рис. 10.4,б). Цилиндрическое кольцо прибора (его внутренний диаметр 240 мм, высота 200 мм) устанавливают и жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке. В кольцо вставляют и закрепляют стандартный конус, который заполняют бетонной смесью в установленном порядке и после этого снимают. Диск прибора с помощью штатива опускают на поверхность отформованного конуса бетонной смеси. Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер; вибрирование производят до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из отверстий диска диаметром 5 мм. Время виброуплотнения (с) и характеризует жесткость бетонной смеси. Ее вычисляют как среднее двух определений, выполненных из одной пробы смеси.

Применяют сверхжесткие, жесткие и подвижные бетонные смеси (табл. 10.2).

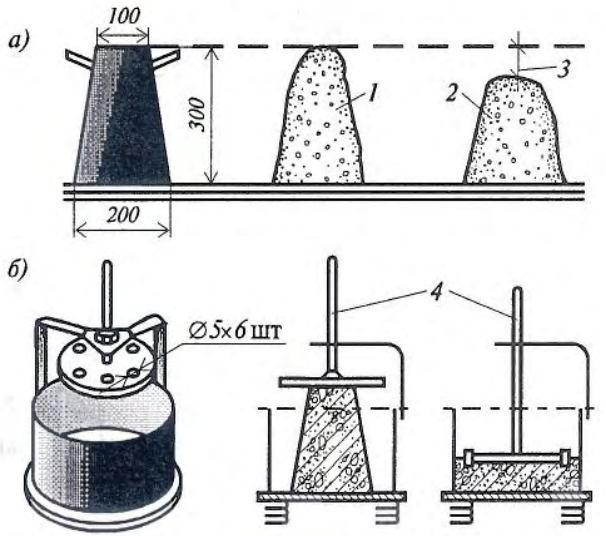


Рис. 10.4. Определение удобоукладываемости бетонной смеси:
а) прибор (конус) для определения подвижности бетонной смеси:
1 - жесткая смесь; *2* - подвижная смесь; *3* - осадка конуса; *б)* прибор для определения жесткости бетонной смеси: *4* - схема испытания

Связность бетонной смеси обуславливает однородность строения и свойств бетона. Очень важно сохранить однородность бетонной смеси при перевозке, укладке в форму и уплотнении. При уплотнении подвижных бетонных смесей происходит сближение составляющих ее зерен, при этом часть воды отжимается вверх. Уменьшение количества воды затворения при применении пластифицирующих добавок и повышение водоудерживающей способности бетонной смеси путем правильного подбора зернового состава заполнителей являются главными мерами борьбы с расслоением подвижных бетонных смесей.

Таблица 10.2

Классификация бетонных смесей

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости		
	Жесткость, с	Подвижность, см	
		Осадка конуса	Расплыв конуса
Сверхжесткие смеси			
СЖ3	Более 100	-	-
СЖ2	51-100	-	-
СЖ1	50 и менее	-	-
Жесткие смеси			
Ж4	31-60	-	-
Ж3	21-30	-	-
Ж2	11-20	-	-
Ж1	5-10	-	-
Подвижные смеси			
П1	4 и менее	1-4	-
П2	-	5-9	-
П3	-	10-15	-
П4	-	16-20	26-30
П5	-	21 и более	31 и более

Удобоукладываемость бетонной смеси

Количество воды затворения является основным фактором, определяющим удобоукладываемость бетонной смеси. Вода затворения (B, кг/м^3) распределяется между цементным тестом ($B_ц$) и заполнителем ($B_{зап}$): $B = B_ц + B_{зап}$. Количество воды в цементном тесте определяют его реологические свойства: предельное напряжение сдвига и вязкость, а следовательно, и технические свойства бетонной смеси - подвижность и жесткость.

Адсорбционная способность (или водопотребность) заполнителя $B_{зап}$ является его важной технологической характеристикой; она возрастает с увеличением суммарной поверхности зерен заполнителя и поэтому велика у мелких песков.

Для обеспечения требуемой прочности бетона величина водоцементного отношения должна сохраняться постоянной, поэтому возрастание водопотребности вызывает перерасход цемента. При мелких песках он достигает 15-25%, поэтому мелкие пески следует применять после обогащения крупным природным или дробленым песком и с пластифицирующими добавками, снижающими водопотребность.

При определении состава бетона учитывают, что количество воды (на 1 м^3 бетона), необходимое для получения из данных материалов бетонной смеси требуемой подвижности, является более или менее постоянной величиной, если расход вяжущего находится в пределах от 200 до 400 кг/м^3. Поэтому количество воды затворения определяют, исходя из требуемых показателей удобоукладываемости, пользуясь таблицами и графиками, составленными на основании практических данных с учетом вида и крупности заполнителя (рис. 10.5).

Удобоукладываемость бетонной смеси зависит как от вязкости, так и от объема вяжущего вещества.

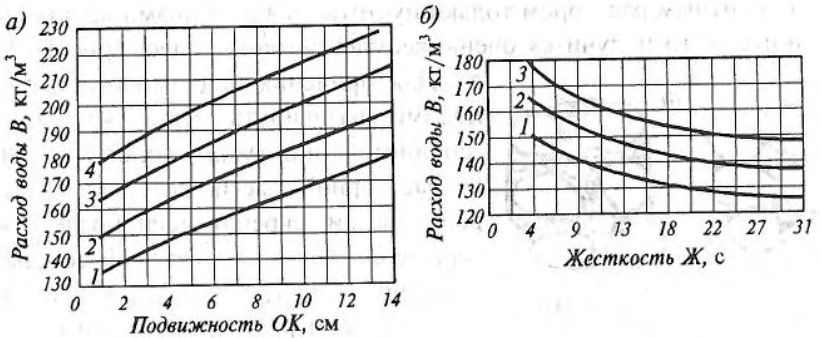


Рис. 10.5. Водопотребность B бетонной смеси, приготовленной с применением портландцемента, песка средней крупности и гравия наибольшей крупности:
а) подвижные смеси; *б)* жесткие смеси; *1* - 70 мм; *2* - 40 мм; *3* - 20 мм; *4* - 10 мм

Объем цементного теста. В подвижной бетонной смеси плотной структуры цементное тесто заполняет пустоты в заполнителе и образует смазочные слои на поверхности его зерен, снижающие внутреннее трение. Из рис. 10.6 видно, что наименьший расход теста вяжущего на заполнение пустот соответствует минимальной пустотности смеси мелкого и крупного заполнителей, а на обмазку зерен расходуется теста тем больше, чем выше доля песка в смеси заполнителей, т.е. чем больше поверхность зерен. Следовательно, имеется оптимальное соотношение между песком и щебнем (гравием), при кото-

ром потребный объем теста вяжущего получается минимальным (кривая *3* на рис. 10.6).



Рис. 10.6. Объем цементного теста $V_{ЦТ}$, расходуемый: *1* - на заполнение пустот между зернами заполнителя; *2* - на обмазку зерен; *3* - интегральный; *M* и *K* - соответственно масса мелкого и крупного заполнителей

Объем цементного раствора. На рис. 10.7 приведены типичные структуры плотной бетонной смеси. Если в бетонной смеси заполнить цементным раствором только пустоты между зернами крупного заполнителя, то получится очень жесткая бетонная смесь (рис 10.7, а). Для придания подвижности необходимо раздвинуть зерна крупного заполнителя и окружить их оболочкой из растворной смеси, которая играет роль смазки, скрепляющей после отверждения зерна камневидной составляющей бетона (рис. 10.7,б). Следовательно, объем растворной части бетона следует принимать равным объему пустот в крупном заполнителе, умноженному на коэффициент раздвижки; он равен 1,05-1,15 - для жестких смесей и 1,2-1,5 - для подвижных смесей.

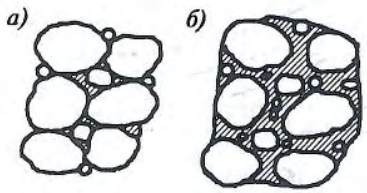


Рис.10.7. Структура бетонной смеси:
а) жесткой; *б)* подвижной

Пластификация бетонных смесей осуществляется с помощью химических веществ: гидрофилизующих - ЛСТ, гидрофобизующих - мылонафт и др., микропенообразующих - омыленный древесный пек и т.п. и комплексных добавок. Разработаны новые химические добавки - суперпластификаторы, весьма значительно повышающие подвижность бетонной смеси. Все химические добавки являются модификаторами бетона. Добавки изменяют не только число пор, но и их размер, конфигурацию, равномерность распределения и др. В результате этого значительно уменьшается капиллярная пористость бетона.

Суперпластификаторы в большинстве случаев представляют собой синтетические полимеры: производные меламиновой смолы или нафталинсульфокислоты (С-3); другие добавки (СПД, ОП-7 и др.) получены на основе вторичных продуктов химического синтеза. Суперпластификаторы, вводимые в бетонную смесь в количестве 0,15-1,2% от массы цемента, разжижают бетонную смесь в большей степени, чем обычные пластификаторы.

Пластифицирующий эффект сохраняется в течение 1-1,5 ч после введения добавки, а через 2-3 ч он уже невелик. В щелочной среде эти добавки переходят в другие вещества, безвредные для бетона и не снижающие его прочности.

Суперпластификаторы позволяют применять литьевой способ изготовления железобетонных изделий и бетонирования конструкций с использованием бетононасосов и трубного транспорта бетонной смеси. С другой стороны, эти добавки дают возможность существенно снизить В/Ц, сохраняя подвижность смеси, и изготовлять высокопрочные бетоны. Применение суперпластификаторов - значительный технический прогресс в технологии бетона.

§ 4. Прочность бетона

Физический смысл закона прочности бетона

Закон прочности бетона устанавливает зависимость прочности от качества применяемых материалов и пористости бетона. Прочность вяжущего характеризуется его маркой ($R_ц$), качество заполнителя коэффициентом *A*, а пористость косвенно определяется величиной водо-цементного отношения В/Ц. Зависимость прочности от В/Ц является в сущности зависимостью прочности от объема пор, образованных водой, не вступающей в химическое взаимодействие с цементом.

Пористость бетона плотной структуры вычисляют по формуле:

$$П = \frac{В - wЦ}{1000} 100\%. \qquad (10.1)$$

где В и Ц расход воды и цемента на 1 м^3 бетона (1000 л), *w* - количество химически связанной воды (в долях от расхода цемента).

В возрасте 28 сут цемент связывает примерно 15% воды от своей массы ($w = 0{,}15$).

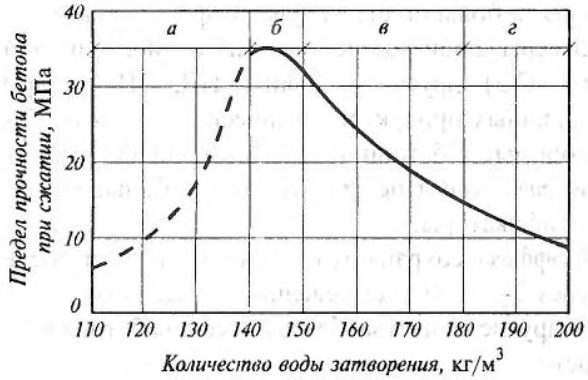


Рис. 10.8. Общая кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения (при определенном расходе цемента и способе уплотнения):
а - область недоуплотненных жестких бетонных смесей; *б* - то же, наибольшей прочности и плотности бетона; *в* - то же, подвижных бетонных смесей; *г* - то же, литых

Кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения (при постоянном расходе цемента и способе уплотнения), приведенная на рис. 10.8, характеризует физический смысл закона прочности. Левая ветвь кривой принадлежит недоуплотненным бетонным смесям, слишком жестким для данного способа уплотнения. При возрастании количества воды затворения, т.е. В/Ц, эти смеси укладываются плотнее, и прочность бетона повышается. Наконец, при оптимальном (для данного способа уплотнения) количестве воды бетон имеет наибольшую плотность и прочность, что соответствует максимуму на кривой прочности.

Формулы прочности бетона

Обычно цементное тесто заполняет пустоты между зернами заполнителя и лишь немного их раздвигает (на величины двух-трех средних диаметров цементных зерен) При таком сближенном ("контактном") расположении зерен заполнителя его свойства будут оказывать заметное влияние на прочность бетона. Поэтому рекомендуется применять для тяжелых бетонов заполнитель с прочностью в 1,5-2 раза больше заданной марки бетона. При большом содержании цементного теста зерна заполнителя раздвинуты на значительные расстояния, они почти не взаимодействуют друг с другом, поэтому решающее значение будет иметь прочность цементного камня и прочность сцепления его с заполнителем. На практике часто используют зависимость прочности бетона не от водо-цементного отношения, а от цементно-водного отношения по формуле швейцарца И.Боломея и Б.Г.Скрамтаева (рис. 10.9).

Для бетонов с Ц/В ≤ 2,5 формула прочности имеет вид:

$$R_б = AR_ц (Ц/В - 0,5). \quad (10.2)$$

Для высокопрочных бетонов, изготовляемых с Ц/В > 2,5, применяется формула

$$R_б = A_1 R_ц (Ц/В + 0,5). \quad (10.3)$$

где $R_ц$ - активность цемента, определяемая по стандартной методике; коэффициенты A и A_1 характеризуют качество используемых заполнителей и цемента.

Материалы: заполнители и цемент	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,6	0,4
Пониженного качества	0,55	0,37

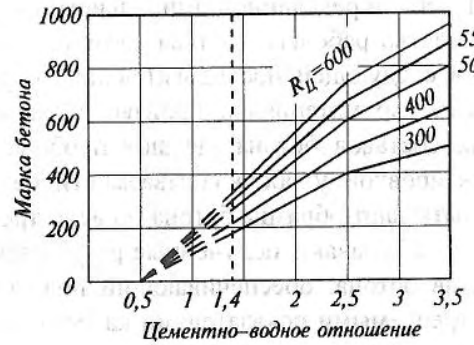


Рис. 10.9. Зависимость прочности тяжелого бетона от Ц/В при разных марках цемента

При В/Ц = 0,4 (Ц/В = 2,5) прочность бетона, определенная по формулам (10.2) и (10.3) при разных значениях коэффициентов A и A_1, на 10...30% оказывается выше прочности нормального цементно-песчаного раствора, используемого для определения активности (марки) цемента, что предопределяет выбор коэффициентов (0,55; 0,37 при $R_б \geq 1,1R_ц$; 0,6; 0,4 при $R_б \geq 1,2R_ц$ и 0,65; 0,43 при $R_б \geq 1,3R_ц$).

§ 5. Определение состава бетона

Подбор состава бетона производят с целью получения бетона с требуемыми качественными показателями, установленными в проектной документации на изделия или конструкции, при минимальном расходе цемента или другого вяжущего. Состав бетона подбирают на средний уровень прочности бетона, устанавливаемый в соответствии с фактической его однородностью по прочности на сжатие, растяжение или растяжение при изгибе. В начальный момент, когда отсутствуют данные о фактической однородности, за средний уровень прочности принимают требуемую прочность бетона R_T = 1,1 $R_{норм}$ (где $R_{норм}$ - нормируемое значение прочности бетона: отпускной или передаточной для сборных конструкций; в промежуточном и проектном возрасте - для монолитных конструкций и товарного бетона. $R_{норм}$ = =В(М)·с. В, М - класс или соответствующая марка бетона; с - уровень отпускной, передаточной и проектной прочности бетона, в долях единицы. В среднем для отпускной и передаточной прочности бетона принимают с = 0,7; для проектной прочности с = 1). Подбор состава бетона включает в себя определение номинального состава, расчет и передачу в производство рабочего состава. Номинальный состав бетона определяют в следующей последовательности: устанавливают характеристики исходных материалов, производят расчет начального и дополнительных составов бетона, делают пробные замесы всех составов с корректировкой удобоукладываемости бетонной смеси; изготовляют и испытывают образцы бетона по всем требуемым показателям качества; обрабатывают полученные результаты и выбирают номинальный состав бетона, обеспечивающий получение бетонной смеси и бетона с требуемыми показателями качества при минимальном расходе вяжущего.

Начальный состав бетона рассчитывают исходя из фактических характеристик материалов по известным методикам. Дополнительные составы рассчитывают аналогично начальному при значениях варьируемых параметров состава, отличающихся от принятых при расчете начального на ±(15...30%). После определения номинального состава, устанавливают рабочий состав бетона с учетом фактической влажности заполнителей, который передают в производство.

При изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций с целью повышения их надежности и безопасности проводят статистический контроль и приемку бетона по прочности с учетом фактической однородности.

Контроль может осуществляться разрушающим (по результатам испытаний образцов на прессе) или неразрушающим (ультразвуковым сквозным прозвучиванием или отрывом со скалыванием) методами. Прочность на растяжение и сжатие в проектном возрасте (для сборных конструкций) контролируется только по образцам.

Для определения однородности прочности бетона номинального рабочего состава на месте изготовления конструкций в течение месяца, так называемого анализируемого периода, производят отбор не менее 30 проб бетонной смеси (по две пробы от каждой партии бетона), из которых изготовляют соответствующее количество серий контрольных образцов по каждому виду прочности (отпускной, передаточной, в промежуточном и проектном возрасте). В состав партии включают бетон, изготовляемый по одной технологии в течение не менее одной смены и не более недели. При неразрушающем методе контролируют 10% конструкций, но не менее 3 в партии. В качестве характеристики однородности прочности бетона используют средний коэффициент вариации по всем партиям бетона за месяц. Его вычисляют как среднеарифметическое из 15 коэффициентов вариации локальных партий бетона. Далее, исходя из найденного среднего партионного коэффициента вариации в соответствии с рекомендуемыми правилами контроля прочности бетона, определяют коэффициенты требуемой прочности бетона, на основании которых вычисляют контрольные характеристики требуемой (R_m), среднего уровня (R_y), верхней предупредительной границы прочности ($R_m^{в.п.г}$) и некоторые другие ограничительные характеристики прочности бетона (в проектном возрасте) и локальных коэффициентов вариации прочности по отдельным партиям.

Вычисленные характеристики однородности и прочности бетона используются для контроля производства в течение так называемого контролируемого периода, продолжительность которого также составляет один месяц. Сохраняя в этот период методику отбора и испытания проб бетонной смеси, принимают его за анализируемый и вычисляют новые значения среднего партионного коэффициента прочности и других статических характеристик прочности бетона, которые распространяют на последующий контролируемый период и т.д.

Приведенная методика подбора состава бетона распространяется на все его виды. Учитывая большой объем вычислений, все расчеты и анализ полученных данных выполняются на компьютере по специальной программе*

1. Расчет начального и дополнительных составов бетона начинают с определения цементно-водного отношения по формулам (10.2) или (10.3), исходя из заданного класса (марки) бетона. Выбор марки цемента производят по таблице

Марка бетона	М150	М200	М250	М300	М350	М400	М450	М500	М600
Марка цемента	300	300 400	300 400	400 500	400 500	500 600	550 600	550 600	600

При расчете состава бетона для конструкций, не подвергающихся агрессивным воздействиям, принимают вычисленное водо-цементное отношение, обеспечивающее требуемую прочность бетона. Однако к гидротехническим и другим конструкциям могут предъявляться дополнительные требования (по морозостойкости, водонепроницаемости, стойкости против химической коррозии и т.п.). Поэтому расчет состава гидротехнического и дорожного бетонов необходимо производить с учетом установленного нормами ограничения В/Ц.

2. Количество воды затворения находят в зависимости от заданной подвижности или жесткости бетонной смеси по графикам или таблицам с учетом водопотребности мелкого заполнителя.

3. Расход цемента находят, зная количество воды затворения и водо-цементное отношение: Ц = В/(В/Ц). Если расход цемента на 1 м^3 бетона окажется меньше допускаемого по нормам, то количество его следует увеличить до требуемой нормы, сохранив прежнее В/Ц. Расход воды при этом пересчитывают, исходя из увеличенного расхода цемента. Минимальный расход вяжущего для бетонных конструкций - 200 кг/м^3, для железобетонных - 220 кг/м^3 и конструкций, работающих в агрессивных средах - 250 кг/м^3.

4. Расход крупного и мелкого заполнителей определяют исходя из следующих положений:

* На кафедре строительных материалов МГСУ разработана такая программа и она используется в учебном процессе.

а) объем плотно уложенного бетона (принимают в расчете равным 1 м^3 или 1000 дм^3 без учета воздушных пустот) слагается из объема зерен мелкого и крупного заполнителей и объема цементного теста, заполняющего пустоты между зернами заполнителей. Уравнение, выражающее это положение и называемое уравнением абсолютных объемов, может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{Ц}{\rho_Ц}+\frac{В}{\rho_В}+\frac{П}{\rho_П}+\frac{К}{\rho_К}=1000\,.$$

б) пустоты между зернами крупного заполнителя должны быть заполнены растворной частью с учетом некоторой раздвижки зерен, величина которой определяется коэффициентом раздвижки $К_{РАЗД}$.

$$\frac{Ц}{\rho_Ц}+\frac{П}{\rho_П}+\frac{В}{\rho_В}=\frac{К}{\rho_{Н.К}}V_{ПУСТ.К}\cdot К_{РАЗД}\,,$$

где $Ц$, $В$, $П$ - расходы соответственно цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг/м^3; $\rho_Ц$, $\rho_В$, $\rho_П$, $\rho_К$ - плотности этих материалов; $\rho_{Н.К}$ - насыпная плотность крупного заполнителя; $V_{ПУСТ.К}$ - относительный объем пустот (пустотность) крупного заполнителя, определяемый по формуле $V_{ПУСТ.К} = (\rho_{Н.К}/\rho_К)$ $К_{РАЗД}$ - коэффициент раздвижки: для жестких бетонных смесей, $К_{РАЗД}$ - 1,05-1,15, в среднем 1,1, для подвижных смесей - по графику (рис. 10.10) в зависимости от объема цементного теста $V_{Ц.Т}$; $V_{Ц.Т} = \frac{Ц}{\rho_Ц}+\frac{В}{\rho_В}$; с учетом водопотребности песка ($В_п$)

$К_{РАЗД} = К'_{РАЗД} + (7 + В_П)0{,}03$.

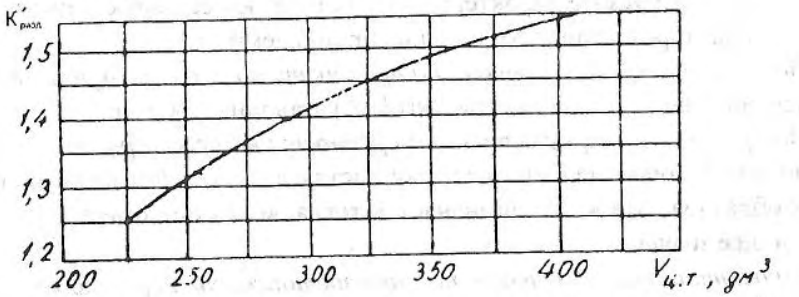


Рис. 10.10. Значения $К'_{РАЗД}$ для пластичных бетонных смесей, изготовляемых с применением песка средней крупности ($В_П$ = 7%)

Решая совместно приведенные выше два уравнения, получаем формулы для определения расходов (кг/м^3):

крупного заполнителя

$$K = \frac{1000}{\frac{V_{ПУСТ} K_{РАЗД}}{\rho_{Н.К}} + \frac{1}{\rho_К}} \qquad (10.4)$$

и песка

$$П = \left[1000 - \frac{Ц}{\rho_Ц} - \frac{В}{\rho_В} - \frac{К}{\rho_К}\right] \cdot \rho_П. \qquad (10.5)$$

Таким образом определен начальный состав бетона в виде расхода (кг/м^3) компонентов: *Ц, В, П, К*. Он может быть выражен в относительных единицах (по отношению к массе цемента):

1 : В/Ц : П/Ц : К/Ц.

Состав бетона проверяют и уточняют путем пробного замеса бетонной смеси, приготовляемой из производственных материалов.

Лабораторный состав бетона, полученный для сухих заполнителей, пересчитывают на рабочий состав с учетом влажности заполнителей, которая может меняться в процессе производства работ.

§ 6. Марки и классы бетона

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций назначают требуемые характеристики бетона: класс (марку) прочности, марки морозостойкости и водонепроницаемости.

За проектную марку бетона по прочности на сжатие принимают сопротивление осевому сжатию (кгс/см^2) эталонных образцов-кубов.

За проектную марку бетона по прочности на осевое растяжение принимают сопротивление осевому растяжению (кгс/см^2) контрольных образцов. Эта марка назначается тогда, когда она имеет главенствующее значение.

Проектная марка бетона по морозостойкости характеризуется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы в условиях стандартного испытания. Назначается для бетона, подвергающегося многократному воздействию отрицательных температур.

Проектная марка бетона по водонепроницаемости характеризуется односторонним гидростатическим давлением (кгс/см^2), при котором образцы бетона не пропускают воду в условиях стандартного испытания. Назначается для бетона, к которому предъявляются требования по плотности и водонепроницаемости.

Проектную марку бетона по прочности на сжатие контролируют путем испытания стандартных бетонных образцов: для монолитных конструкций - в возрасте 28 сут, для сборных конструкций - в сроки, установленные для данного вида изделий стандартом или техническими условиями.

Проектную марку бетона монолитных конструкций разрешается устанавливать при специальном обосновании в возрасте 90 или 180 сут в зависимости от сроков загружения, что позволяет экономить цемент.

Прочность бетона определяют путем испытания образцов, которые изготовляют сериями; серия состоит, как минимум, из двух образцов. Для изготовления контрольных образцов отбирают пробу бетонной смеси из средней части замеса или порции смеси. Бетонную смесь уплотняют в формах на лабораторной площадке. Изготовленные образцы хранят не менее 24 ч в формах, покрытых влажной тканью, на воздухе с температурой 20±2°С, затем распалубленные образцы помещают в камеру "нормального твердения", в которой поддерживается относительная влажность воздуха не ниже 95% и температура 20±2°С.

Поскольку образцы могут быть разной формы и размера, показатели прочности приводят к кубиковой прочности базового образца размером 15x15x15 см умножением на масштабный коэффициент. Для кубов с длиной ребра 10 см коэффициент равен 0,95; для 20 см - 1,05. Размер ребра куба должен быть примерно в три раза больше наибольшей крупности зерен заполнителя.

Предел прочности при растяжении возрастает при повышении марки бетона по прочности при сжатии, однако увеличение сопротивления растяжению замедляется в области высокопрочных бетонов. Поэтому прочность бетона при растяжении составляет 1/10-1/17 предела прочности при сжатии, а предел прочности при изгибе - 1/6-1/10.

Проектные марки тяжелого бетона по прочности на сжатие: М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М450, М500,

М600, М700, М800. Марки М250, М350 и М450 применяют при условии, что это приводит к экономии цемента. Бетоны высоких марок (М500-М800) нужны для предварительно напряженных железобетонных конструкций. При этом плотный бетон хорошо защищает стальную арматуру от коррозии, что особенно важно для предварительно напряженных конструкций, работающих в агрессивных условиях.

Однородность прочности и класс бетона. Бетон должен быть однородным - это важнейшее техническое и экономическое требование. Для оценки однородности бетона данной марки используют результаты контрольных испытаний бетонных образцов за определенный период времени, имеется в виду, что стандартные образцы твердели в одинаковых условиях одно и то же время. Прочность бетонных образцов будет колебаться, отклоняясь от среднего значения в большую и меньшую стороны. На прочности сказываются колебания в качестве цемента и заполнителей, точность дозирования составляющих, тщательность приготовления бетонной смеси и другие факторы. Чем ближе частные результаты испытания образцов к среднему значению, тем выше однородность бетона.

Коэффициент вариации прочности бетона (%) вычисляют по формуле

$$v = S / \overline{R}, \qquad (10.6)$$

где S - среднее квадратичное отклонение частных результатов испытания от средней прочности $\overline{R}$, определяемой по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(R - \overline{R})^2}{n-1}}. \qquad (10.7)$$

Средняя же прочность равна

$$\overline{R} = \Sigma R/n, \qquad (10.8)$$

где R - предел прочности отдельного образца; n - число испытанных образцов.

В идеальном случае "для абсолютно однородного" бетона $S = 0$ и $v = 0$. Определяют коэффициенты вариации прочности бетона: внутрисерийный для партии изделий ($v_П$) и общий за анализируемый период (v_0) продолжительностью 1-2 мес. Неудовлетворительная однородность бетона характеризуется значениями $v_0 > 16\%$. На предприятиях с хорошо налаженной технологией значение v_0 не превышает 7-10%.

От коэффициента вариации зависит требуемая прочность бетона, следовательно, расход цемента в бетоне и его экономические показатели.

Нормативную кубковую прочность бетона R^H принимают равной:

$$R^H = M(1 - 1{,}64v), \qquad (10.9)$$

откуда проектная марка бетона M равна:

$$M = \frac{R^H}{1 - 1{,}64v}. \qquad (10.10)$$

При v = 0,07 величина $M = 1{,}12R^H$, а при $v = 0{,}14$ – $M = 1{,}3R^H$ и расход цемента в бетоне возрастает на 15-20%.

Для повышения однородности бетона необходимо применение цемента и заполнителей гарантированного качества, повышение уровня технологической дисциплины, автоматизация производства.

Следовательно для нормирования прочности необходимо использовать стандартную характеристику, которая гарантировала бы получение бетона заданной прочности с учетом возможных ее колебаний. Такой характеристикой является класс бетона.

Класс бетона - это числовая характеристика какого-либо его свойства, принимаемая с гарантированной обеспеченностью 0,95. Это значит, что установленное классом свойство обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100 и лишь в 5-ти случаях можно ожидать его не выполненным.

Бетоны подразделяются на классы (МПа): В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В15; В20; В25; В30; В40; В45; В50; В55; В60.

Например, класс бетона В30 следует понимать так, что с вероятностью 0,95 при определении $R_{сж}$ в любом сечении конструкции будет результат 30 МПа и более и только в 5% случаях можно ожидать менее 30 МПа.

Соотношение между классом и марками бетона по прочности при нормативном коэффициенте вариации v = 13,5% следует принять $R_б^{ср} = B / 0{,}778$, например, для класса В5 средняя прочность будет $R_б^{ср} = 6{,}43$ МПа.

Прочность и твердение бетона. Прочность бетона нарастает в результате физико-химических процессов взаимодействия цемента с водой, которые нормально проходят в теплых и влажных условиях. Взаимодействие цемента с водой прекращается, если бетон высыхает

или замерзает. Раннее высыхание и замерзание бетона непоправимо ухудшает его строение и свойства.

Бетон нуждается в уходе, создающем нормальные условия твердения, в особенности в начальный период после укладки (до 15-28 сут). В теплое время года влагу в бетоне сохраняют путем поливки и укрытия. На поверхность свежеуложенного бетона наносят битумную эмульсию или его укрывают полиэтиленовыми и другими пленками.

Характер нарастания прочности бетонов, изготовленных на портландцементе и твердевших в нормальных 'условиях (во влажном воздухе с температурой 18-22°С) показан на рис. 10.11. Приближенно можно считать, что прочность бетона со временем увеличивается примерно по логарифмическому закону:

$$R_n = R_{28}\frac{\lg n}{\lg 28}, \qquad (10.11)$$

где R_n - прочность бетона в возрасте n сут (не менее трех суток); R_{28} - марка бетона; n - число дней твердения бетона.

Эту формулу используют при ориентировочных расчетах времени распалубки. Более точно прочность бетона в промежуточные сроки твердения определяется по опытной кривой нарастания прочности бетона, которая может быть построена по результатам испытания образцов 3, 7, 28, 90 - суточного возраста. Бетон при нормальных

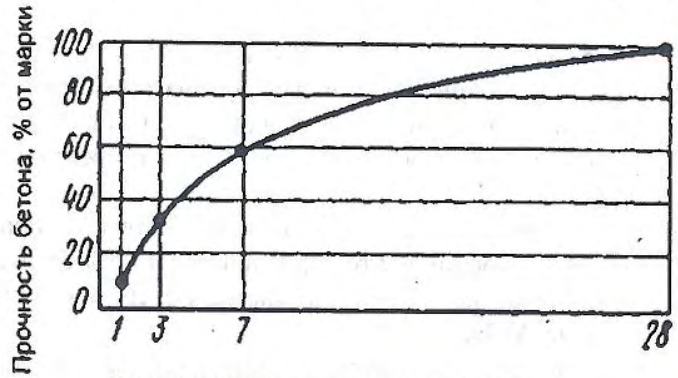


Рис. 10.11. Нарастание прочности бетонов в нормальных условиях твердения

условиях твердения имеет низкую начальную прочность и только через 7-14 сут приобретает 60-80% марочной прочности. Прочность у 3-х месячных образцов примерно на 25%, а у 12-месячных - на 75% выше чем R_{28}.

§ 7. Свойства бетона

Деформативные свойства бетона

Под нагрузкой бетон ведет себя иначе, чем сталь и другие упругие материалы. Конгломератная структура бетона определяет его поведение при возрастающей нагрузке осевого сжатия.

Область условно упругой работы бетона - от начала нагружения до напряжения сжатия, при котором по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины.

Опыты подтвердили, что при небольших напряжениях и кратковременном нагружении для бетона характерна упругая деформация, подобная деформации пружины. Если напряжение превосходит 0,2 от предела прочности, то наблюдается заметная остаточная (пластическая) деформация, и полную деформацию бетона можно представить как сумму упругой и пластической деформации ($\varepsilon_{УПР} + \varepsilon_{ПЛ}$).

Модуль упругости бетона возрастает при увеличении прочности и зависит от пористости: увеличение пористости бетона сопровождается снижением модуля упругости (рис. 10.12). При одинаковой марке по прочности модуль упругости легкого бетона на пористом заполнителе меньше в 1,7-2,5 раза тяжелого. Еще ниже модуль упругости ячеистого бетона. Таким образом, упругими свойствами бетона можно управлять, регулируя его структуру. Модуль упругости бетона при сжатии и растяжении принимают равными между собой: $E_{СЖ} = E_Р = E_б$.

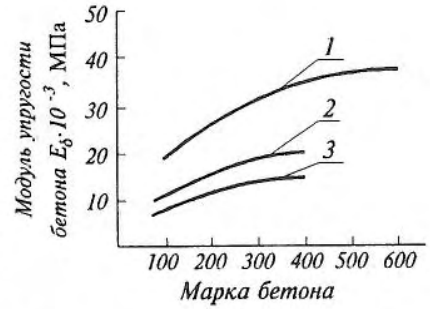


Рис. 10.12. Графики зависимости модуля упругости бетона от его марки:
1 - тяжелый бетон; *2* - легкий бетон на пористом заполнителе; *3* - ячеистый бетон

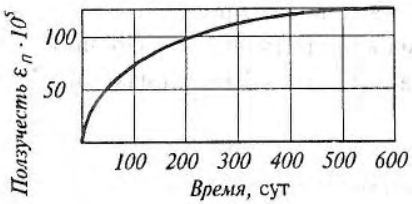


Рис. 10.13. Развитие ползучести бетона во времени

Ползучестью называют явление увеличения деформаций бетона во времени при действии постоянной статической нагрузки (рис. 10.13). Таким образом, полная относительная деформация бетона при длительном действии нагрузки слагается из его начальной ("мгновенной") упругой деформации и пластической деформации ползучести.

Ползучесть зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, его возраста, условий твердения и влажности. Меньшая ползучесть наблюдается при применении высокомарочных цементов и плотного заполнителя-щебня из изверженных горных пород. Пористый заполнитель усиливает ползучесть, поэтому легкие бетоны имеют большую ползучесть по сравнению с тяжелыми. С увеличением В/Ц ползучесть бетона при прочих равных условиях возрастает, так как цементный гель становится менее вязким, а бетон - более пористым. При одинаковом В/Ц большая ползучесть наблюдается у бетона с более высоким содержанием цемента. В бетоне, нагруженном в раннем возрасте, проявляется гораздо большая ползучесть, чем в позднем возрасте.

На ползучести сказывается климат: замечено ее усиление в теплом и сухом воздухе. Преждевременное высыхание бетона ухудшает структуру и увеличивает его ползучесть. Однако насыщение водой затвердевшего бетона может также вызывать рост ползучести.

Ползучесть и связанная с ней релаксация напряжений может играть отрицательную роль. Например, ползучесть бетона приводит к потере натяжения в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

Усадка и набухание бетона

При твердении на воздухе происходит усадка бетона, т.е. бетон сжимается и линейные размеры бетонных элементов сокращаются. Усадка слагается из влажностной, карбонизационной и контракционной составляющих. Влажностная усадка вызывается изменением распределения, перемещением и испарением влаги в образовавшемся скелете цементного камня. Эта составляющая играет ведущую роль в суммарной усадке бетона. Карбонизация содержащегося в цементном

камне гидрата окиси кальция с переходом его в углекислый кальций также вызывает усадку, особенно заметную в ячеистых бетонах. Обычные измерения дают общую величину усадки бетона, слагающуюся из влажностной и карбонизационной составляющих. Контракционная составляющая усадки, вызванная уменьшением абсолютного объема системы цемент-вода, невелика и составляет всего около 10% от влажностной усадки.

Вследствие усадки бетона в железобетонных и бетонных конструкциях возникают усадочные напряжения, поэтому сооружения большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин. Ведь при усадке бетона 0,3 мм/м в сооружении длиной 30 м общая усадка составляет около 10 мм. Массивный бетон высыхает снаружи, а внутри он еще долго остается влажным. Неравномерная усадка вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции и появление внутренних трещин на контакте с заполнителем и в самом цементном камне.

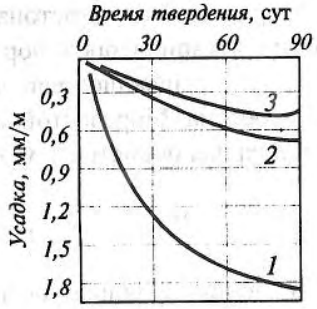


Рис.10.14. Кривые усадки:
1 - цементного камня;
2 - раствора; *3* - бетона

Для снижения усадочных напряжений и сохранения монолитности конструкций стремятся уменьшить усадку бетона. Наибольшую усадку имеет цементный камень. Введение заполнителя уменьшает количество вяжущего в единице объема материала, при этом образуется своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке. Поэтому усадка цементного раствора и бетона меньше, чем цементного камня (рис. 10.14).

Бетон наружных частей гидротехнических сооружений, цементно-бетонных дорог периодически увлажняется и высыхает. Колебания влажности бетона вызывают попеременные деформации усадки и набухания, которые могут вызвать появление микротрещин и разрушение бетона.

Морозостойкость бетона

Морозостойкость бетона определяют путем попеременного замораживания в холодильной камере при температуре от 17 до 20°С и оттаивания в воде при температуре 15-20°С бетонных образцов кубов с размерами ребра 10, 15 или 20 см (в зависимости от наибольшей крупности заполнителя). Образцы испытывают после

28 сут выдерживания в камере нормального твердения или через 7 сут после тепловой обработки. Контрольные образцы, предназначенные для испытания на сжатие в эквивалентном возрасте, хранят в камере нормального твердения.

За марку бетона по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое при испытании выдерживают образцы установленных размеров без снижения прочности на сжатие более 5% по сравнению с прочностью образцов, испытанных в эквивалентном возрасте, а для дорожного бетона, кроме того, без потери массы более 5%. Установлены марки по морозостойкости: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500.

Морозостойкость бетона зависит от качества примененных материалов и капиллярной пористости бетона. Объем капиллярных пор оказывает решающее влияние на водопроницаемость и морозостойкость бетона. Морозостойкость бетона значительно возрастает, когда капиллярная пористость менее 7%.

Водонепроницаемость бетона

По водонепроницаемости бетон делят на марки W2, W4, W6, W8 и W12, причем марка обозначает давление воды (кгс/см^2), при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду в условиях стандартного испытания.

С уменьшением объема капиллярных макропор снижается водонепроницаемость и одновременно повышается морозостойкость бетона. Для уменьшения водонепроницаемости в бетон при его изготовлении вводят уплотняющие (алюминат натрия) и гидрофобизующие добавки. Нефтепродукты (бензин, керосин и др.) имеют меньшее, чем у воды, поверхностное натяжение, поэтому они легче проникают через обычный бетон. Для снижения фильтрации нефтепродуктов в бетонную смесь можно вводить специальные добавки (хлорное железо и др.). Проницаемость бетона по отношению к воде и нефтепродуктам резко уменьшается, если вместо обычного портландцемента применяют расширяющийся.

Теплофизические свойства бетона

Теплопроводность - наиболее важная теплофизическая характеристика бетона, в особенности применяемого в ограждающих конструкциях зданий.

Теплопроводность тяжелого бетона в воздушно-сухом состоянии 1,2 Вт/(м·°С), т.е. она в 2-4 раза больше, чем у легких бетонов (на пористых заполнителях и ячеистых). Высокая теплопроводность является недостатком тяжелого бетона. Панели наружных стен из тяжелого бетона изготавливают с внутренним слоем утеплителя.

Теплоемкость тяжелого бетона изменяется в узких пределах - 0,75-0,92 Вт/(м°С). Линейный коэффициент температурного расширения бетона составляет около $10 \cdot 10^{-6}$°С, следовательно, при увеличении температуры на 50°С расширение достигает примерно 0,5 мм/м. Во избежание растрескивания сооружений большой протяженности разрезают температурно-усадочными швами.

Крупный заполнитель и раствор, составляющие бетон, имеют различный коэффициент температурного расширения и будут поразному деформироваться при изменении температуры.

Большие колебания температуры (более 80°С) смогут вызвать внутреннее растрескивание бетона вследствие различного теплового расширения крупного заполнителя и раствора. Характерные трещины распространяются по поверхности заполнителя, некоторые из них образуются в растворе, а иногда и в слабых зернах заполнителя. Внутреннее растрескивание можно предотвратить, если позаботиться о подборе составляющих бетона с близкими коэффициентами температурного расширения.

Поэтому важнейшим требованием к составу бетона является ограничение величины В/Ц в зависимости от суровости работы бетона в той или иной зоне сооружения: для бетона М500 рекомендуется принимать В/Ц не более 0,4; М400 - не более 0,45; М300 - не более 0,5; М200 - не более 0,55.

Рекомендуется применять сульфатостойкий портландцемент, являющийся одновременно и морозостойким. В этом цементе содержится лишь небольшое количество трехкальциевого алюмината (до 5%), снижающего морозостойкость. В него не вводят минеральные добавки (кроме гипса). Заполнители должны быть чистые: промытый кварцевый песок, щебень из плотных изверженных горных пород с водопоглощением не более 0,5% (по массе).

Для повышения морозостойкости и водонепроницаемости бетона применяют добавки поверхностно-активных веществ.

§ 8. Легкие бетоны

Бетоны на пористых заполнителях

Снизить высокую среднюю плотность бетона можно применением пористого заполнителя вместо плотного и поризацией цементирующего слоя. Надо предельно насытить легкий бетон пористым заполнителем, как самой легкой его частью, и ввести как можно меньше цементного камня - самой дорогой, нестойкой, а главное тяжелой составляющей.

Неорганические пористые заполнители отличаются большим разнообразием, их разделяют на природные и искусственные. Природные пористые заполнители получают путем частичного дробления и рассева или только рассева горных пород (пемзы, вулканического туфа, известняка-ракушечника и др.). Искусственные пористые заполнители являются продуктами термической обработки минерального сырья и разделяются на специально изготовленные и побочные продукты промышленности (топливные шлаки и золы, отвальные металлургические шлаки и др.).

Керамзитовый гравий получают путем обжига гранул, приготовленных из вспучивающихся глин. Это легкий и прочный заполнитель насыпной плотностью 250-800 кг/м^3. В изломе гранула керамзита имеет структуру застывшей пены. Спекшаяся оболочка, покрывающая гранулу, придает ей высокую прочность. В процессе обжига (до 1200°С) легкоплавкая глина переходит в пиропластическое состояние и вспучивается вследствие выделения внутри каждой гранулы газообразных продуктов. Они образуются при дегидратации слюдистых минералов и выгорании органических примесей. Вспучиванию способствует выделение CO_2 в реакции восстановления окиси железа до закиси, протекающей при обжиге в восстановительной среде (содержащей CO):

$$Fe_2O_3 + CO = CO_2 + 2FeO.$$

Керамзит, обладающий высокой прочностью и легкостью, является основным видом пористого заполнителя.

Керамзитовый песок (зерна до 5 мм) получают при производстве керамзитового гравия (правда, в небольших количествах), а также по методу кипящего слоя, обжигом глиняных гранул во взвешенном состоянии. Кроме того, его можно получать дроблением зерен гравия.

Шлаковую пемзу изготовляют путем быстрого охлаждения расплава металлургических (обычно доменных) шлаков, приводящего к вспучиванию. Куски шлаковой пемзы дробят и рассеивают, получая пористый щебень. Производство шлаковой пемзы распространено в районах развитой металлургии. Здесь себестоимость шлаковой пемзы ниже, чем керамзита.

Гранулированный металлургический шлак получают в виде крупного песка с пористыми зернами размером 5-7 мм, иногда до 10 мм.

Вспученный перлит изготовляют путем обжига водосодержащих вулканических стеклообразных пород (перлитов, обсидианов). При температуре 950-1200°С вода выделяется и перлит увеличивается в объеме 10-20 раз. Вспученный перлит применяют для производства легких бетонов и теплоизоляционных изделий.

Вспученный вермикулит - пористый сыпучий материал, полученный путем обжига водосодержащих слюд. Этот заполнитель используют для изготовления теплоизоляционных легких бетонов.

Топливные отходы (топливные шлаки и золы) образуются в качестве побочного продукта при сжигании антрацита, каменного угля, бурого угля и других видов твердого топлива. На основе золы выпускают зольный гравий.

Топливные шлаки - пористые кусковые материалы, получающиеся в топке в результате спекания и вспучивания неорганических (в основном глинистых) примесей, содержащихся в угле. Шлаки подвергаются частичному дроблению, рассеву и обогащению для удаления вредных примесей (несгоревшего угля, золы и др.), на основе зол выпускают зольный и глинозольный гравий.

Аглопорит получают при обжиге глиносодержащего сырья (с добавкой 8-10% топлива) на решетках агломерационных машин. Каменный уголь выгорает, а частицы сырья спекаются. Применяют местное сырье: легкоплавкие глинистые и лессовые породы, а также отходы промышленности - золы, топливные шлаки и углесодержащие шахтные породы. Аглопорит выпускают в виде пористого песка, щебня и гравия.

Шунгизит изготовляют обжигом шунгитовых сланцевых пород.

Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов используют и органические заполнители, приготовленные из древесины, стеблей хлопчатника, костры, гранул пенополистирола (стиропорбетон), стекловолокна, пенопропиленовых фибр и др.

Наивыгоднейшее сочетание показателей плотности, теплопроводности, прочности и расхода цемента для легких бетонов достигается при наибольшем насыщении бетона пористым заполнителем, что требует слитного (сближенного) размещения зерен заполнителя в объеме бетона и формирование около заполнителя плотной контактной зоны. В этом случае в бетоне будет содержаться меньше цементного камня, заполнитель как бы помещен в «обойму», а стальная арматура будет защищена от коррозии. Наибольшее насыщение бетона пористым заполнителем возможно только при правильном подборе зернового состава смеси мелкого и крупного пористых заполнителей, а также при использовании технологических факторов (интенсивного уплотнения, пластификаторов и др.).

Пористые заполнители, так же как и плотные, делят на крупные (пористый гравий или щебень) с размером кусков 5-40 мм и мелкие (пористый песок), состоящие из частиц менее 5 мм. Пористый песок рассеивают на две фракции - до 1,2 мм (мелкий песок) и 1,2-5 мм (крупный песок). Пористый щебень (гравий) следует разделять на фракции - 5-10, 10-20, 20-40 мм.

По насыпной плотности в сухом состоянии (кг/м^3) пористые заполнители разделяют на марки 250...1100.

Прочность пористого щебня (гравия) определяют по стандартной методике путем раздавливания зерен в стальном цилиндре и подразделяют на марки: не менее 5 (для засыпок) и от 25 до 200 для бетонов.

Пористый гравий, щебень и песок периодически должны испытывать на *теплопроводность* и *радиационно-гигиеническую оценку*.

Теория легких бетонов основана на зависимости прочности легкого бетона, плотности и коэффициента выхода β от расхода воды, установленной Н.А.Поповым (рис. 10.15). Коэффициент выхода вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{V_{б.с.}}{V_Ц + V_М + V_К}, \qquad (10.12)$$

где $V_{б.с.}$, $V_Ц$, $V_М$, $V_К$ - объемы: уплотненной бетонной смеси цемента, мелкого и крупного заполнителей; β - всегда меньше единицы (0,6-0,8).

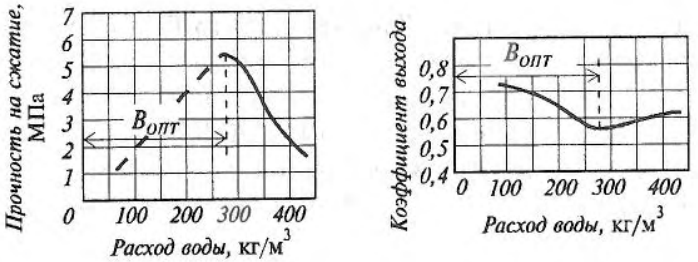


Рис. 10.15. Зависимость прочности легкого бетона и коэффициента выхода от расхода воды затворения, $B_{опт}$ - оптимальное количество воды

Кривая зависимости прочности от расхода воды имеет две ветви. Левая (восходящая) показывает, что прочность бетона при повышении расхода воды постепенно возрастает. Это объясняется увеличением удобоукладываемости бетонной смеси и плотности бетона. Правая (нисходящая) ветвь кривой свидетельствует о том, что после достижения наибольшего уплотнения смеси (т.е. минимального коэффициента выхода) увеличение расхода воды приводит к возрастанию объема пор, образованных несвязанной цементом водой, и к понижению прочности бетона.

В легком бетоне отчетливо проявляется вредное влияние недостатка воды и меньше - ее избытка.

Прочность легкого бетона R зависит от марки цемента, цементно-водного отношения, прочности пористого заполнителя и может быть приближенно определена по формуле (10.2), имеющей в определенных границах Ц/В такой же вид, как и для тяжелых бетонов:

$$R = A\, R_Ц\, (Ц/В - b)$$

только безразмерные параметры A и b другие. Чем ниже прочность пористого заполнителя, тем меньше величины A и b.

При оптимальном количестве воды затворения, подобранном для применяемых цемента и заполнителей, прочность легкого бетона зависит главным образом от марки и расхода цемента:

$$R = K\, R_Ц\, (Ц - Ц_0), \qquad (10.13)$$

где K и $Ц_0$ - параметры, определяемые путем испытания образцов бетона, изготовленных с оптимальным количеством воды, но с разными расходами цемента и твердевших в тех же условиях, что и лег-

кобетонные изделия ($К$ - безразмерный, $Ц_0$ - имеет размерность расхода цемента).

Свойства легкого бетона. Качество легкого бетона оценивают двумя важнейшими показателями: классом по прочности и маркой по средней плотности. Легкий бетон плотной структуры по прочности на сжатие (МПа) имеет классы: В2,5...В40, по прочности на осевое растяжение (МПа) - В0,8...В3,2. Для теплоизоляционных бетонов предусматриваются классы: В0,35, В0,75, В1.

Для легких бетонов, запроектированных без учета классов, показатели прочности (кгс/см^2) характеризуют марками: М35-М500.

Для изготовления высокопрочных легких бетонов (имеющих плотность 1600-1800 кг/м^3) применяют более прочный пористый заполнитель (с насыпной плотностью 600-800 кг/м^3), а пористый песок частично или полностью заменяют плотным. В зависимости от плотности в сухом состоянии (кг/м^3) легкие бетоны подразделяются на марки: Д200...Д2000.

Наиболее важной наряду с прочностью характеристикой легкого бетона является плотность. В зависимости от *назначения* лёгкие бетоны делят на следующие группы: функциональные с плотностью до 500 кг/м^3; конструкционно-функциональные (для ограждающих конструкций - наружных стен, покрытий зданий) с плотностью 500-1400 кг/м^3; конструкционные с плотностью 1400-1800 кг/м^3.

Уменьшить плотность легких бетонов можно путем образования в цементном камне мелких замкнутых пор. Для поризации цементного камня, являющегося самой тяжелой составной частью легкого бетона, используют небольшие количества пенообразующих или газообразующих веществ. Мелкие и равномерно распределенные поры в цементном камне незначительно понижают прочность, но зато существенно уменьшают плотность и теплопроводность легкого бетона.

Теплопроводность легких бетонов зависит в основном от плотности и влажности. Увеличение объемной влажности легкого бетона на 1% повышает теплопроводность на 0,016-0,035 Вт/(м·°С).

В соответствии с изменением СНиП "Строительная теплотехника" уровень теплозащиты зданий должен быть повышен на 20% до 2000 г. и на 40% после 2000 г. Поэтому требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен может быть удовлетворено только в двух- или трехслойной панели из легкого бетона с эффективным утеплителем. Наружные ограждающие конструкции из легких бетонов

подвергаются воздействию попеременного замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания. Поэтому легкие бетоны, применяемые для наружных стен, покрытий зданий, а также для конструкций мостов, гидротехнических сооружений, должны обладать определенной морозостойкостью.

По *морозостойкости* легкие бетоны делят на марки: F25...F500; по *водонепроницаемости* W0,2...W2,5. Для наружных стен обычно применяют бетоны с морозостойкостью не менее 15-25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Возможность получения легких бетонов с высокой морозостойкостью и малой водопроницаемостью значительно расширяет области их применения. Бетоны на пористых заполнителях уже успешно используют в мостостроении, гидротехническом строительстве.

Водонепроницаемость плотных конструкционных легких бетонов может быть высокой. Керамзитобетон с расходом цемента 300-350 кг/м^3 не пропускает воду даже при давлении 2 МПа. Малая водопроницаемость плотных легких бетонов подтверждается долголетней эксплуатацией возведенных из них гидротехнических сооружений (например, в Армении и Грузии), а также испытанием напорных железобетонных труб. Характерно, что со временем водонепроницаемость легких бетонов повышается.

Крупнопористый бетон

В состав крупнопористого (беспесчаного) бетона входят гравий или щебень крупностью 5-20 мм, портландцемент или шлакопортландцемент М300-М400 и вода. За счет исключения песка из состава крупнопористого бетона его плотность уменьшается примерно на 600-700 кг/м^3 и составляет 1700-1900 кг/м^3. Отсутствие песка и ограниченный расход цемента (70-150 кг/м^3) позволяют получить пористый бетон с теплопроводностью 0,55-0,8 Вт/(м·°С) и марками М15-М75. Крупнопористый бетон целесообразно применять в районах богатых гравием. Из крупнопористого бетона возводят монолитные наружные стены зданий, изготовляют крупные стеновые блоки. Стены из крупнопористого бетона оштукатуривают с двух сторон, чтобы устранить продувание.

Крупнопористый бетон на пористом заполнителе (керамзитовом гравии и т.п.) имеет небольшую плотность (500-700 кг/м^3) и используется как теплоизоляционный материал.

Гипсобетон

Гипсобетон изготовляют на основе строительного гипса, высокопрочного гипса и гипсоцементнопуццоланового вяжущего, обеспечивающего получение водостойких изделий. Для уменьшения плотности стремятся применять пористые заполнители (топливные шлаки, керамзитовый гравий, шлаковую пемзу и т.п.), а также комбинированный заполнитель из кварцевого песка и древесных опилок. С этой целью вводят породообразующие добавки, позволяющие снизить плотность гипсобетона. Для повышения прочности на изгиб и уменьшения хрупкости в состав гипсобетона вводят волокнистые наполнители (древесные волокна, измельченную бумажную массу и т.п.).

Крупноразмерные изделия изготовляют способом непрерывного вибропроката на специальных станах. Отформованные затвердевшие изделия высушивают в сушильных камерах.

Плотность гипсобетонов в зависимости от применяемого заполнителя и водогипсового отношения составляет 1000-1600 кг/м^3, а марки М25 и М50.

Гипсобетон широко применяют для изготовления сплошных и пустотелых плит перегородок. Плиты можно армировать штукатурной дранью, камышом и т.п. Стальная арматура (проволока) должна быть защищена от коррозии специальной обмазкой (цементно-казеиновой, битумной или полимерной). На водостойком гипсоцементнопуццолановом вяжущем изготовляют мелкие камни и крупные блоки для внутренних и наружных стен жилых, сельскохозяйственных производственных зданий с относительной влажностью помещений до 75%.

Ячеистые бетоны

Ячеистые бетоны являются разновидностью легкого бетона, его получают в результате затвердевания вспученной при помощи порообразователя смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды. При вспучивании исходной смеси образуется характерная "ячеистая" структура бетона с равномерно распределенными по объему воздушными порами. Благодаря этому ячеистый бетон имеет небольшую плотность и малую теплопроводность.

Пористость ячеистого бетона сравнительно легко регулировать в процессе изготовления, в результате получают бетоны разной плотности и назначения. Ячеистые бетоны делят на три группы: теплоизоляционные плотностью в высушенном состоянии не более 500 кг/м^3; конструкционно-теплоизоляционные (для ограждающих конструкций) плотностью 500-900 кг/м^3, конструкционные (для железобетона) плотностью 900-1200 кг/м^3.

Материалы для ячеистого бетона. *Вяжущим* для цементных ячеистых бетонов обычно служит портландцемент. Бесцементные ячеистые бетоны (газо- и пеносиликат) автоклавного твердения изготовляют, применяя молотую негашеную известь.

Вяжущее применяют совместно с кремнеземистым компонентом, содержащим диоксид кремния.

Кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок, золаунос ТЭС и молотый гранулированный доменный шлак) уменьшают расход вяжущего, усадку бетона и повышают качество ячеистого бетона. Кварцевый песок обычно размалывают мокрым способом и применяют в виде песчаного шлама. Измельчение увеличивает удельную поверхность кремнеземистого компонента и повышает его химическую активность. Встречается тонкодисперсный природный кварц-маршаллит с частицами 0,01-0,06 мм.

Возрастает применение побочных продуктов промышленности (зола-уноса, доменных шлаков, нефелинового шлама) для изготовления ячеистого бетона.

Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим устанавливают опытным путем. При перемешивании материалов в смесителе получают исходную смесь - тесто, состоящее из вяжущего, кремнеземистого компонента и воды.

Вспучивание теста вяжущего может осуществляться двумя способами: химическим, когда в тесто вяжущего вводят газообразующую добавку и в смеси происходят химические реакции, сопровождающиеся выделением газа; механическим, заключающимся в том, что тесто вяжущего смешивают с отдельно приготовленной устойчивой пеной.

В зависимости от способа изготовления ячеистые бетоны делят на газобетон и пенобетон. У нас и за рубежом развивается производство преимущественно газобетона. Его технология более проста и позволяет получить материал пониженной плотности со стабильными свойствами. Пена же не отличается стабильностью, что вызывает колебания плотности и прочности пенобетона.

Газобетон и газосиликат. Газобетон приготовляют из смеси портландцемента (часто с добавкой воздушной извести или едкого натра), кремнеземистого компонента и газообразователя.

По типу химических реакций газообразователи делят на следующие виды: вступающие в химические взаимодействие с вяжущим или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра); разлагающиеся с выделением газа (пергидроль H_2O_2); взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (например, молотый известняк и соляная кислота).

Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидратом окиси кальция, выделяет водород по реакции

$$3Ca(OH)_2 + 2Al + 6H_2O = 3H_2 + 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O.$$

Расход алюминиевой пудры для изготовления 1 м^3 газобетона при плотности 600-700 кг/м^3 составляет 0,4-0,5 кг.

Литьевая технология предусматривает отливку изделий, как правило, в отдельных формах из текучих смесей, содержащих до 50-60% воды от массы сухих компонентов (водотвердое отношение В/Т = 0,5-0,6). При изготовлении газобетона применяемые материалы - вяжущее, песчаный шлам и вода, дозируют и подают в самоходный газобетоносмеситель, в котором их перемешивают 4-5 мин; затем в приготовленную смесь вливают водную суспензию алюминиевой пудры и после последующего перемешивания теста с алюминиевой пудрой газобетонную смесь заливают в металлические формы на определенную высоту с таким расчетом, чтобы после вспучивания формы были заполнены доверху.

Избыток смеси ("горбушку") после схватывания срезают проволочными струнами. Для ускорения газообразования, а также процессов схватывания и твердения применяют "горячие" смеси на подогретой воде с температурой в момент заливки в формы около 40°С.

Тепловую обработку бетона производят преимущественно в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при температуре 175-200°С и давлении 0,8-1,3 МПа.

Вибрационная технология газобетона заключается в том, что во время перемешивания в смесителе и вспучивания в форме смесь подвергается вибрации. Тиксотропное разжижение, происходящее вследствие ослабления связей между частицами, позволяет уменьшить количество воды затворения на 25-30% без ухудшения удобоформуемости смеси. В смеси, подвергающейся вибрированию, ускоряется газовыделение - вспучивание заканчивается в течение 5-7 мин вместо 15-20 мин при литьевой технологии. После прекращения вибрирования газобетонная смесь быстро (через 0,5-1,5 ч) приобретает структурную прочность, позволяющую разрезать изделие на блоки, время автоклавной обработки также сокращается.

Разработаны новые технологические приемы изготовления ячеистого бетона из холодных смесей (с температурой около 20°С) с добавками поверхностно-активных веществ и малым количеством воды. Такой газобетон на цементе после обычного пропаривания при атмосферном давлении достигает прочности автоклавного бетона, изготовленного по литьевой технологии, что дает большой экономический эффект.

Резательная технология изготовления изделий из ячеистого бетона предусматривает формование вначале большого массива (объемом 10-12 м^3, высотой до 2 м). После того как бетон наберет структурную прочность, массив разрезают в горизонтальном и вертикальном направлениях на прямоугольные элементы, а затем подвергают тепловой обработке. Полученные элементы калибруют на специальной фрезерной машине, а затем отделывают их фасадные поверхности. Из готовых элементов, имеющих точные размеры, собирают на клею плоские или объемные конструкции, используя стяжную арматуру. Таким путем получают большие стеновые панели размером на одну или две комнаты и высотой на этаж.

Газосиликат автоклавного твердения в отличие от газобетона изготовляют на основе известково-кремнеземистого вяжущего, используя местные дешевые материалы - воздушную известь и песок, золуунос и металлургические шлаки. Соотношение между известью и молотым песком колеблется от 1:3 до 1:4,5 (по массе), при этом извести расходуется 120-180 кг на 1 м^3 газосиликата. Изделия из газосиликата приобретают нужную прочность и морозостойкость только после автоклавной обработки, обеспечивающей химическое взаимодействие между известью и кремнеземистым компонентом и образование нерастворимых в воде гидросиликатов кальция.

Пенобетон и пеносиликат. Пенобетон приготовляют, смешивая раздельно приготовленные растворную смесь и пену, образующую воздушные ячейки. Растворную смесь получают из вяжущего (цемента или воздушной извести) кремнеземистого компонента и воды, как и в технологии газобетона.

Пену приготовляют в лопастных пеновзбивателях или центробежных насосах из водного раствора пенообразователей, содержащих поверхностно-активные вещества. Применяют клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфо-нафтеновый и синтетические пенообразователи. Стабилизаторами пены служат добавки раствора животного клея, жидкого стекла или сернокислого железа; минерализаторами же являются цемент и известь.

Из бункера, перемещающегося вдоль фронта форм-вагонеток, пенобетонная смесь поступает в формы. Для сокращения времени выдержки и ускорения оборачиваемости форм добавляют хлористый кальций, поташ и другие вещества, ускоряющие структурообразование.

Пеносиликат, как и газосиликат, изготовляют на основе известково-кремнеземистого вяжущего.

Свойства ячеистого бетона. *Прочность и плотность* являются главными показателями качества ячеистого бетона. Плотность, колеблющаяся от 300 до 1200 кг/м^3, косвенно характеризует пористость ячеистого бетона (соответственно 85-60%).

Установлены следующие марки ячеистых бетонов по прочности при сжатии: М15, М25, М35, М50, М75, М100, М150. Классы по прочности на сжатие находятся в пределах В0,35...В12,5.

Водопоглощение и морозостойкость зависят от величины и характера пористости ячеистого бетона и плотности перегородок между макропорами (ячейками). Для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости стремятся к созданию ячеистой структуры с замкнутыми порами. Этому способствует вибрационная технология, так как при вибрации газобетонной смеси разрушаются крупные ячейки, снижающие морозостойкость и однородность материала.

Установлены следующие марки ячеистого бетона по морозостойкости: F15, F25, F35, F50, F75, F100. Для панелей наружных стен применяют ячеистый бетон марок F15, F25 в зависимости от влажности атмосферы в помещениях и климатических условий. Более высокая морозостойкость требуется от конструкционного ячеистого бетона, подвергающегося многократному замораживанию и оттаиванию.

Теплопроводность ячеистого бетона зависит от плотности и влажности, например при плотности 600 кг/м^3, теплопроводность в сухом состоянии 0,14Вт/(м·°С), при влажности 8% - 0,22 Вт/(м·°С).

Усадка зависит от состава ячеистого бетона, плотности и условий твердения. Ячеистый бетон плотностью 700-800 кг/м^3 в воздухе с 70-80%-ной относительной влажностью и температурой 20°С имеет усадку 0,4-0,6 мм/м.

Применяют ячеистые бетоны для легких железобетонных конструкций и теплоизоляции. Широко распространены конструкционно-теплоизоляционные ячеистые бетоны. Из них изготовляют панели наружных стен и покрытий зданий, неармированные стеновые и теплоизоляционные блоки, камни для стен. Конструкции из ячеистых бетонов долговечны в зданиях с сухим и нормальным режимами помещений при относительной влажности воздуха 60-75%.

§ 9. Особые виды бетона

Высокопрочный бетон

Высокопрочный бетон М600-М1000 получают на основе высокопрочного портландцемента, промытого песка и щебня не ниже М1200-М1400*

Малоподвижные и жесткие смеси приготовляют с низкими В/Ц = = 0,27-0,45 в бетоносмесителях принудительного действия (например, турбинных). Для плотной укладки этих смесей при формовании изделий и конструкций используют интенсивное уплотнение: вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование, сильное прессование. Значительно облегчают уплотнение суперпластификаторы, не понижающие прочности бетона.

Высокопрочные бетоны являются, как правило, и быстротвердеющими. Однако для ускоренного достижения отпускной прочности бетона в изделиях обычно требуется тепловая обработка, которая может проводиться по сокращенному режиму. Новые особо быстротвердеющие цементы дают возможность обойтись без тепловой обработки, так как бетон достигает нужной прочности в "естественных" условиях твердения при температуре 20-25°С. Применение высокопрочных бетонов взамен бетона М400 дает возможность уменьшить расход арматурной стали на 10-12% и сократить объем бетона на 10-30%.

* Бетоны нового поколения, разработанные в НИИЖБе: $R_{сж}$ до 200 МПа, F 1000, W20 и выше.

Гидротехнический бетон

Гидротехнический бетон предназначается для конструкций, находящихся в воде или периодически соприкасающихся с водой, поэтому он должен обладать свойствами, необходимыми для длительной нормальной службы этих конструкций в данных климатических и эксплуатационных условиях.

Гидротехнический бетон должен иметь минимальную стоимость и удовлетворять требованиям по прочности, долговечности, водостойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, тепловыделению при твердении, усадке и трещиностойкости. Противоречивые на первый взгляд требования высокого качества и низкой стоимости можно выполнить, если выделить наружную зону массивного сооружения, подвергающуюся непосредственному влиянию среды, и внутреннюю зону.

Бетон наружной зоны в зависимости от расположения в сооружении по отношению к уровню воды делят на бетон подводный (находящийся постоянно в воде), переменного уровня воды и надводный, находящийся выше уровня воды.

В самых суровых условиях бетон, расположенный в области переменного уровня воды, многократно замерзает и оттаивает, находясь все время во влажном состоянии. Это же относится к бетону водосливной грани плотин, морских сооружений (причалов, пирсов, молов и т.д.), градирен, служащих для охлаждения оборотной воды на тепловых электростанциях, предприятиях металлургической и химической промышленности. Этот бетон должен обладать высокой плотностью и морозостойкостью. Правильный выбор цемента, применение морозостойких заполнителей, подбор состава плотного бетона и тщательное производство бетонных работ обеспечивают получение долговечного бетона.

Бетон внутренней зоны массивных конструкций защищен наружным бетоном от непосредственного воздействия среды. Главное требование к этому бетону - минимальная величина тепловыделения при твердении, так как неравномерный разогрев массива может вызвать образование температурных трещин. Малое тепловыделение имеет шлакопортландцемент, поэтому его и применяют для внутримассивного бетона наряду с пуццолановым портландцементом; эти цементы экономичнее портландцемента и к тому же хорошо противостоят выщелачиванию $Ca(OH)_2$. Требования к физико-механическим свой-

ствам бетона внутренней зоны не столь высоки: марки по прочности М100, М150, по водонепроницаемости W2, W4.

Марку бетона по водонепроницаемости назначают в зависимости от напорного градиента, равного отношению максимального напора к толщине конструкций или к толщине бетона наружной зоны конструкции (при наличии зональной разрезки):

Напорный градиент	до 5	5-10	10-12	12 и более
Марка бетона по водонепроницаемости	W4	W6	W8	W12

Для конструкций с напорным градиентом более 12 на основании опытов могут назначаться марки по водонепроницаемости выше W12.

Стойкость бетона к воздействиям среды определяется комплексом его свойств: морозостойкостью, малым водопоглощением, небольшими деформациями усадки.

Марку бетона по морозостойкости назначают в зависимости от климатических условий и числа расчетных циклов попеременного замораживания и оттаивания в течение года. Установлены следующие марки гидротехнического бетона по морозостойкости: F100, F150, F200, F300, F400, F500.

Водопоглощение гидротехнического бетона характеризуется величиной капиллярной всасываемости при погружении в воду образцов 28-суточного возраста, высушенных до постоянной массы при температуре 105°С. Водопоглощение бетона зоны переменного уровня воды не должно превышать 5% (от массы высушенных образцов), для бетонов других зон - не более 7%.

Линейная усадка бетона при относительной влажности воздуха 60% и температуре 18°С в возрасте 28 сут не превышает 0,3 мм/м, в возрасте 180 сут - 0,7 мм/м. Предельно допустимые величины набухания установлены: в возрасте 28 сут - 0,1 мм/м, 180 сут - 0,3 мм/м (по сравнению с высушенными до постоянной массы при 60°С эталонными образцами).

Дорожный бетон

Дорожный бетон предназначен для оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Покрытие работает на изгиб как плита на упругом основании, поэтому основной прочностной харак-

теристикой бетона является проектная марка на растяжение при изгибе.

Крупный заполнитель (щебень, гравий, щебень из шлака) обязательно проверяют на износостойкость в полочном барабане: она нормируется в соответствии с назначением бетона.

Бетон дорожных покрытий подвергается совместному действию воды и мороза при одновременном влиянии солей, использующихся для предотвращения обледенения и облегчения очистки дорог от льда. Поэтому бетон однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий должен иметь необходимую морозостойкость: в суровом климате - не ниже 200; в умеренном - 150; в мягком 100.

Чтобы получить морозостойкий бетон, применяют портландцемент М500 с содержанием трехкальциевого алюмината не более 10%, гидрофобный и пластифицированный портландцементы, а В/Ц бетона ограничивают пределом 0,5-0,55. Бетон оснований дорожных покрытий изготовляют на портландцементе М300 и М400 и шлакопортландцементе. Начало схватывания цемента должно быть не ранее 2 ч, поскольку дорожный бетон нередко приходится перевозить на большие расстояния.

Для декоративных целей при устройстве пешеходных переходов, разделительных полос на дорожных покрытиях, парковых дорожек, а также изготовлении элементов городского благоустройства используют **цветные бетоны**. Такие бетоны получают при введении в бетонную смесь щелоче- и светостойких пигментов в количестве 8...10% от массы цемента (охра, мумия, сурик и др.) или применении цветных цементов. В отдельных случаях используют заполнители, обладающие необходимым цветом, например туфы, красные кварциты, мрамор и другие окрашенные горные породы.

Жаростойкий бетон

Жаростойкий бетон предназначается для промышленных агрегатов (облицовки котлов, футеровки печей и т.п.) и строительных конструкций, подверженных нагреванию (например, для дымовых труб). При действии высокой температуры на цементный камень происходит обезвоживание кристаллогидратов и разложение гидроксида кальция с образованием CaO. Оксид кальция при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонко измельченные материалы, содержащие активный кремнезем SiO_2, который реагирует с CaO при температуре 700-900°С и в результате химических реакций, протекающих в твердом состоянии, связывает оксид кальция.

Жаростойкий бетон изготовляют на портландцементе с активной минеральной добавкой (пемзы, золы, доменного гранулированного шлака, шамота). Шлакопортландцемент уже содержит добавку доменного гранулированного шлака и может успешно применяться при температурах до 700°С. Портландцемент и шлакопортландцемент нельзя применять для жаростойкого бетона, подвергающегося кислой коррозии (например, действию сернистого ангидрида в дымовых трубах). В этом случае следует применить бетон на жидком стекле. Он хорошо противостоит кислотной коррозии и сохраняет свою прочность при нагреве до 1000°С.

Глиноземистый цемент можно применять без тонкомолотой добавки, поскольку при его твердении не образуется гидроксид кальция. Еще большей огнеупорностью (не ниже 1580°С) обладает высокоглиноземистый цемент с содержанием глинозема 65-80%; в сочетании с высокоогнеупорным заполнителем его применяют при температурах до 1700°С.

Столь же высокой огнеупорности позволяют достигнуть фосфатные и алюмофосфатные связующие: фосфорная кислота H_3PO_4, алюмофосфаты $Al(H_2PO_4)_3$ и магнийфосфаты $Mg(H_2PO_4)_2$. Жаростойкие бетоны на фосфатных связующих можно применять при температурах до 1700°С, они имеют небольшую огневую усадку, термически стойки, хорошо сопротивляются истиранию.

Заполнитель для жаростойкого бетона должен быть не только стойким при высоких температурах, но и обладать равномерным температурным расширением.

Бескварцевые изверженные горные породы как плотные (сиенит, диорит, диабаз, габбро), так и пористые (пемза, вулканические туфы, пеплы) можно использовать для жаростойкого бетона, применяемого при температурах до 700°С.

Для бетона, работающего при температурах 700-900°С, целесообразно применять бой обычного глиняного кирпича и доменные отвальные шлаки с модулем основности не более 1, не подверженные распаду.

При более высоких температурах заполнителем служат *огнеупорные материалы*: кусковой шамот, хромитовая руда, бой шамотных, хроммагнезитовых и других огнеупорных изделий.

Легкий жаростойкий бетон на пористом заполнителе имеет плотность менее 2100 кг/м^3, его теплопроводность в 1,5-2 раза меньше, чем у тяжелого бетона. Применяют пористые заполнители, выдерживающие действие высоких температур (700-1000°С): керамзит, вспученный перлит, вермикулит, вулканический туф.

Ячеистый жаростойкий бетон отличается небольшой массой (500-1200 кг/м^3) и малой теплопроводностью.

Сборные элементы и монолитные конструкции из жаростойкого бетона широко применяют в различных отраслях промышленности: энергетической, черной и цветной металлургии, в химической и нефтеперерабатывающей, в производстве строительных материалов; используют взамен полукислых и шамотных изделий, предназначенных для температур 800-1400°С, а также вместо высокоогнеупорных изделий при температуре выше 1400°С.

Кислотоупорный бетон

Вяжущим для **кислотоупорного бетона** является жидкое стекло с полимерной добавкой. Для повышения плотности бетона вводят наполнители: кислотостойкие минеральные порошки, получаемые измельчением чистого кварцевого песка, андезита, базальта, диабаза и т.п. В качестве отвердителя используют кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6), в качестве заполнителя - кварцевый песок, щебень из гранита, кварцита, андезита и других стойких пород. После укладки с вибрированием бетон выдерживает не менее 10 сут на воздухе (без поливки) при 15-20°С. После отвердения рекомендуется поверхность бетона "окислить", т.е. смочить раствором серной или соляной кислот. Кислотоупорный бетон хорошо выдерживает действие концентрированных кислот; вода разрушает его за 5-10 лет, щелочные растворы разрушают быстрее. Кислотоупорный бетон применяют в качестве защитных слоев (футеровок) по железобетону и металлу.

Бетон для защиты от радиоактивного воздействия

Материалы, применяемые для **бетона от радиоактивной защиты**, должны обеспечить возможно большую плотность бетона и определенное содержание водорода - обычно в виде воды, связанной с вяжущим.

Вяжущим служит портландцемент или шлакопортландцемент, который выделяет при гидратации немного тепла и поэтому хорошо зарекомендовал себя в массивных защитных конструкциях.

В качестве заполнителей используют тяжелые природные или искусственные материалы. Для особо тяжелого бетона применяют в качестве заполнителя близкие по своим свойствам железные руды - магнетит (Fe_3O_4) и гематит (Fe_2O_3) с содержанием железа не менее 60%. Бурый железняк (лимонит) $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ позволяет значительно повысить содержание связанной воды в гидратном бетоне. Баритовые руды (или барит), содержащие около 80% сульфата бария ($BaSO_4$), применяют как мелкий и крупный заполнитель.

Металлический крупный заполнитель получают из отходов металлообрабатывающих заводов, мелким заполнителем служит кварцевый или лимонитовый песок, а также чугунная дробь. Свинцовая дробь дорогая и ее применяют при малой толщине защиты, для заделки отверстий в конструкциях, когда требуется бетон с повышенными защитными свойствами. Плотность бетона на металлическом заполнителе достигает 6000 кг/м^3.

Бетон должен иметь заданную марку по прочности и относительно низкий модуль упругости, что позволяет снизить величину растягивающих напряжений во внешней зоне защиты, вызываемых односторонним нагревом. Кроме того, бетон, расположенный у активного корпуса реактора, должен обладать достаточной стойкостью к воздействию излучений, быть огнестойким и жаростойким даже при температурах, возможных при аварийном режиме реактора. Для массивных конструкций желательно меньшая теплота гидратации цемента и минимальная усадка бетона (для предотвращения температурных и усадочных трещин), а также небольшая величина коэффициента температурного расширения.

Механические свойства особо тяжелых магнетитового, гематитового, лимонитового и баритового бетонов близки. Особо тяжелый бетон имеет марки по прочности М100, М200 и М300, при этом марки на осевое растяжение составляют 10, 20.

В качестве дополнительной характеристики бетона, которую учитывают в расчете толщины защиты, подбирают количество связанной воды, исходя из того, что она связывается цементом или входит в состав заполнителя (лимонита, серпентина).

Мелкозернистый бетон

Мелкозернистый бетон не содержит крупного заполнителя, применяют его при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций. Свойства мелкозернистого бетона характеризуются теми же факторами, что и обычный бетон. Однако из-за отсутствия крупного заполнителя увеличивается водопотребность бетонной смеси и чтобы получить равнопрочный бетон и равноподвижную бетонную смесь возрастает расход цемента на 20-40% по сравнению с обычным бетоном. Снижение расхода цемента возможно за счет применения высокопрочного песка, суперпластификатора, усиленного уплотнения.

Мелкозернистый бетон имеет повышенную прочность на изгиб, хорошую водонепроницаемость и морозостойкость. Повышение эффективности мелкозернистого бетона возможно за счет использования отходов зол ТЭС и основных шлаков литейного производства. Мелкозернистый бетон широко применяется при изготовлении силикатных изделий автоклавного твердения.

Серный бетон

Серный бетон представляет собой смесь сухих заполнителей - щебень, песок, минеральная мука, нагретых до 140-150°С, и расплавленного серного вяжущего при температуре перемешивания 145-155°С. Использование серы в строительстве известно с середины прошлого века: в виде растворов и мастик для заливки швов каменных кладок, для заделки металлических стоек перил лестничных маршей и заделки металлических связей каменных конструкций взамен расплавленного свинца.

Процесс получения серного бетона основан на свойстве серы изменять свою вязкость при различной температуре - при 119-122°С сера полностью переходит из кристаллического состояния в расплав. В качестве заполнителей используют кислотоупорный цемент, андезитовую или кварцевую муку, кварцевый песок и другие кислотостойкие минеральные наполнители. Во многих странах серный бетон применяют для изготовления свай, фундаментов, емкостей, покрытий дорог и химстойких полов.

Одним из факторов, сдерживающим широкое внедрение серного бетона в нашей стране, является его стоимость, которая выше примерно в 2 раза бетона на портландцементе. Однако имеется много

химических предприятий, располагающих серосодержащими отходами, которые содержат от 25 до 80% технической серы. Также большое количество серосодержащих отходов образуется при добыче серы.

Использование серосодержащих отходов для серных бетонов, с одной стороны, позволит решить проблему сырья, а с другой - охрану окружающей среды.

Бетон на шлакощелочных вяжущих

Шлакощелочное вяжущее представляет собой гидравлическое вяжущее вещество, получаемое в результате твердения смеси на основе шлаков черной или цветной металлургии, домолотого совместно с высокомодульными добавками феррохромового шлака, белитовых шламов, высококальциевых зол-уноса ТЭС (или без них), затворенного растворами щелочных металлов: натрия или калия, дающих в водных растворах щелочную реакцию (жидкое стекло). Применяют заполнители из горных пород, а также из техногенных твердых отходов. В отличие от цементного шлакощелочное вяжущее активно взаимодействует с минеральными заполнителями. По своим свойствам такие бетоны не уступают цементным, но имеют повышенную жаро- и химическую стойкость.

Бетон, упрочненный волокнами

Дисперсно-армированный бетон (фибробетон) представляет собой композиционный материал, упрочненный волокнами. В нем невысокая прочность на растяжение и пластичность матрицы (бетона) сочетается с высокомодульным волокном, обладающим высокой прочностью на разрыв. Эффективность армирования короткими волокнами зависит от ориентации волокон к действию растягивающих усилий и при перпендикулярной ориентации составляет 40-50%, а при объемно-произвольной лишь около 20% по отношению к параллельной ориентации. Волокна препятствуют развитию усадочных трещин, их наличие повышает прочность сцепления стержневой арматуры с бетоном примерно на 40%.

Волокна должны быть стойкими в щелочной среде цементного раствора или бетона. В зависимости от конструкций применяют волокна: минеральные (стеклянные - из бесщелочного стекла, базальтовые, кварцевые и др.), металлические (преимущественно из обычной

или нержавеющей стали), синтетические (пропиленовые, капроновые и др.).

Вопросы для самоконтроля

1. Бетон как композиционный материал: влияние вида заполнителя на структуру и среднюю плотность бетона.
2. Связь реологических и технических свойств бетонной смеси; классификация смесей по показателям удобоукладываемости.
3. Применение пластификаторов для регулирования удобоукладываемости бетонной смеси и экономии цемента.
4. Основной закон прочности бетона, его физический смысл и математическое выражение.
5. Эффективность легких бетонов (на пористом заполнителе и ячеистого) по сравнению с тяжелым бетоном.
6. Для чего нужен статистический контроль прочности бетона? Объясните основные понятия: класс прочности бетона, коэффициент вариации прочности, средний уровень прочности. Почему состав бетона определяют, исходя из среднего уровня прочности?

Дополнительная литература

1. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. - М., 1987.
2. *Горчаков Г.И.* и др. Состав, структура и свойства цементных бетонов.- М., 1976.
3. *Москвин В.М.* и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты.- М., 1980.
4. *Симонов М.З.* Основы технологии легких бетонов.- М., 1973.
5. *Рамачандран* и др. Наука о бетоне.- М., 1986.
6. *Батраков В.Г.* Модифицированные бетоны. М., 1999.

Глава XI. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

§ 1. Общие сведения

Строительный раствор - это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, мелкого заполнителя и добавок, улучшающих свойства смеси и растворов. Крупный заполнитель отсутствует, так как раствор применяют в виде тонких слоев (шов каменной кладки, штукатурка и т.п.).

Для изготовления строительных растворов чаще используют неорганические вяжущие вещества (цементы, воздушную известь и строительный гипс).

Строительные растворы разделяют в зависимости от вида вяжущего вещества, величины плотности и назначения.

По **виду вяжущего** различают растворы цементные, известковые, гипсовые и смешанные (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

По **плотности** различают: тяжелые растворы плотностью более 1500 кг/м^3, изготовляемые обычно на кварцевом песке; *легкие* растворы плотностью менее 1500 кг/м^3, изготовляемые на пористом мелком заполнителе и с породообразующими добавками.

По **назначению** различают строительные раствор: *кладочные* - для каменной кладки стен, фундаментов, столбов, сводов и др.; *штукатурные* для оштукатуривания внутренних стен, потолков, фасадов зданий; *монтажные* - для заполнения швов между крупными элементами (панелями, блоками и т.п.) при монтаже зданий и сооружений из готовых сборных конструкций и деталей; *специальные* растворы (декоративные, гидроизоляционные, тампонажные и др.).

§ 2. Материалы для изготовления растворных смесей

Вяжущие вещества. Применяют портландцемент и шлакопортландцемент, принимают марку цемента в 3-4 раза выше марки раствора. Воздушную известь в виде известкового теста вводят в смеситель при изготовлении растворной смеси; реже используют молотую негашеную известь. Строительный гипс входит в состав гипсовых и известково-гипсовых растворов.

Пески применяют *природные* - кварцевые, полевошпатовые, а также *искусственные* - дробленые из плотных горных пород и порис-

тых пород; из искусственных материалов (пемзовые, керамзитовые, перлитовые и т.п.). Пористые пески служат для приготовления легких растворов. Если песок содержит крупные включения (комья глины и др.), то его просеивают. Для кирпичной кладки применяют растворы на песках с зернами не более 2 мм. Для растворов марки М100 и выше пески должны удовлетворять тем же требованиям в отношении содержания вредных примесей, что и пески для изготовления бетона. Для растворов марки М50 и ниже допускается по соглашению сторон содержание пылевидных частиц до 20% по массе.

Пластифицирующие добавки. Чаще всего растворные смеси укладывают тонким слоем на пористое основание, способное отсасывать воду (кирпич, бетоны легкие, ячеистые и т.п.). Чтобы сохранить удобоукладываемость растворных смесей при укладке на пористое основание, в них вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки, повышающие способность растворной смеси удерживать воду.

Неорганические дисперсные добавки состоят из мелких частиц, хорошо удерживающих воду (известь, глина, зола ТЭС, диатомит, молотый доменный шлак и т.п.). Глина, используемая в качестве пластифицирующей добавки, не должна содержать органических примесей и легкорастворимых солей, вызывающих появление "выцветов" на фасадах зданий. Глину вводят в растворную смесь в виде жидкого теста.

Органические поверхностно-активные пластифицирующие и воздухововлекающие добавки: омыленный древесный пек, канифольное мыло, мылонафт, ЛСТ и другие вводят в количестве 0,1-0,3% от массы вяжущего. Они не только улучшают удобоукладываемость растворных смесей, но также повышают морозостойкость, снижают водопоглощение и усадку раствора.

В растворы, применяемые для зимней кладки и штукатурки, добавляют ускорители твердения, понижающие температуру замерзания растворной смеси: хлористый кальций, поташ, хлористый натрий, хлорную известь и др.

§ 3. Свойства строительных растворов

Удобоукладываемость - это свойство растворной смеси легко укладываться плотным и тонким слоем на пористое основание и не расслаиваться при хранении, перевозке и перекачивании растворонасосами. Она зависит от подвижности и водоудерживающей способности смеси.

Подвижность растворных смесей характеризуется глубиной погружения металлического конуса (массой 300 г) стандартного прибора (рис.11.1). Подвижность назначают в зависимости от вида раствора и отсасывающей способности основания. Для кирпичной кладки подвижность растворов составляет 9-13 см, для заполнения швов между панелями и другими сборными элементами - 4-6 см, а для вибрирования бутовой кладки - 1-3 см.

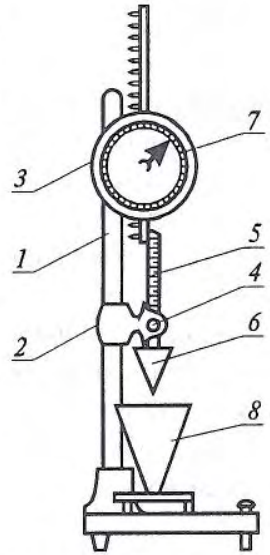


Рис.11.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:
1 - штатив; *2* и *3* - держатели; *4* - пружинная кнопка; *5* - скользящий стержень; *6* - конус; *7* - циферблат; *8* - сосуд для растворной смеси

Водоудерживающая способность - это свойство растворной смеси сохранять воду при укладке на пористое основание, что необходимо для сохранения подвижности смеси, предотвращения расслоения и хорошего сцепления раствора с пористым основанием (кирпичом и т.п.). Водоудерживающую способность увеличивают путем введения в растворную смесь неорганических дисперсных добавок и органических пластификаторов. Смесь с этими добавками отдает воду пористому основанию постепенно, при этом он становится плотнее, хорошо сцепляется с кирпичом, отчего кладка становится прочнее. Удобоукладываемую растворную смесь получают, если правильно назначен зерновой состав ее твердых составляющих, определяемой соотношением песка, вяжущего и дисперсной добавки. Тесто вяжущего заполняет пустоты между зернами песка и равномерно покрывает песчинки тонким слоем, уменьшая внутреннее трение. С удобоукладываемой растворной смесью удобно работать (каменщики говорят - мягкая и не тянется за кельмой), в результате повышается производительность труда. От удобоукладываемости растворной смеси зависит качество каменной кладки. Правильно подобранная растворная смесь заполняет неровности, трещины, углубления в кирпиче или камне, поэтому получается большая площадь контакта между раствором и кирпичом (камнем), в результате проч-

ность и монолитность кладки возрастает. Увеличивается и долговечность наружных стен.

Основными свойствами строительных растворов являются: прочность (марка) к заданному сроку твердения, сцепление с основанием, морозостойкость и деформативные характеристики: усадка в процессе твердения, влияющая на трещиностойкость, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Прочность при сжатии определяют испытанием образцов-кубиков с длиной ребра 7,07 см в возрасте, установленном в стандарте или технических условиях на данный вид раствора. Изготовление образцов из растворной смеси подвижностью менее 5 см производят в обычных формах с поддоном, а из смеси с подвижностью 5 см и более - в формах без поддона, установленных на отсасывающем основании-кирпиче (покрытом смоченной водой газетной бумагой).

Прочность цементного раствора при отсутствии отсоса воды определяется теми же факторами, что и прочность бетона; зависимость предела прочности раствора при сжатии R_{28} от активности цемента $R_Ц$ и цементно-водного отношения определяется формулой

$$R = 0{,}4\, R_Ц\, (Ц/В - 0{,}3). \qquad (11.1)$$

Прочность раствора, уложенного на пористое основание (кирпич), удобно выразить в зависимости от расхода вяжущего вещества, а не от Ц/В, поскольку после отсоса воды основанием в растворе остается примерно одинаковое количество воды:

$$R_{28} = k\, R_Ц\, (Ц - 0{,}05) + 4. \qquad (11.2)$$

Приведенная формула применима для цементно-известковых растворов: $Ц$ - расход цемента, т/м^3 песка; коэффициент k зависит от качества песка: для крупного песка - 2,2, песка средней крупности - 1,8, мелкого песка - 1,4.

Прочность смешанных растворов зависит от количества введенной в раствор извести или глины. Оптимальная добавка известкового или глиняного теста, позволяющая получить удобоукладываемые растворные смеси и плотные растворы, соответствует максимуму на кривых прочности, приведенных на рис. 11.2 для растворных смесей

разного состава - от "жирных" состава 1:3 до "тощих" состава 1:2:9; состав указан в объемных частях - цемент: тесто (известковое, глиняное): песок.

На основании закономерностей, управляющих прочностью растворов (они приведены выше в виде формул и графиков), составлены таблицы рекомендуемых составов разных марок, которыми широко пользуются на практике.

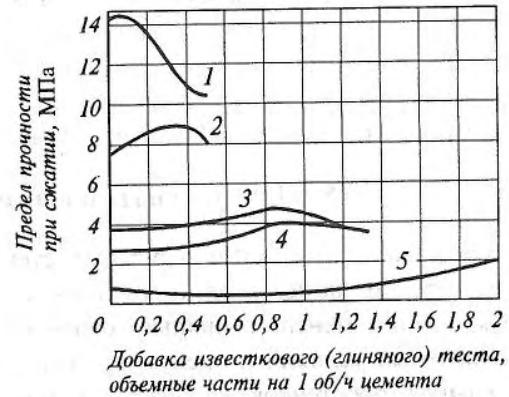


Рис. 11.2. Общий характер влияния дисперсных добавок (извести, глины) на прочность растворов состава (цемент : песок по объему): 1 - 1:3; 2 - 1:4; 3 - 1:5; 4 - 1:6; 5 - 1:9

Строительные растворы по прочности в 28-суточном возрасте при сжатии делят на марки: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200. Растворы марок 4 и 10 изготовляют на воздушной и гидравлической извести и др.

Понижение температуры замедляет рост прочности растворов:

Температура твердения, ^{0}C	1	5	10	15	20	25
Предел прочности при сжатии в 28-суточном возрасте, % от R_{28} при 15^{0}C	55	72	88	100	106	110

Следовательно, при низких положительных температурах прочность раствора в возрасте 28 сут составляет 55-72% от марки.

Поэтому в зимнее время широко применяют растворы с химическими добавками (поташа, нитрата натрия и др.), понижающими температуру замерзания раствора и ускоряющими набор его прочности. Зимой марку раствора для каменной кладки (без тепляков) и монтажа крупнопанельных стен обычно повышают на одну ступень против марки при летних работах (например, 75 вместо 50).

Морозостойкость раствора характеризуется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают насыщенные водой стандартные образцы-кубики размером

7,07x7,07x7,07 см (допускается снижение прочности образцов не более 25% и потеря массы не свыше 5%).

Строительные растворы для каменной кладки наружных стен и наружной штукатурки имеют марки по морозостойкости: F10, F15, F25, F35 и F50, причем марка повышается для влажных условий эксплуатации. В таких условиях растворы удовлетворяют и более высоким требованиям по морозостойкости: F100, F150, F200 и F300. Морозостойкость растворов зависит от вида вяжущего вещества, водоцементного отношения, введенных добавок и условий твердения.

§ 4. Виды строительных растворов

Для **каменной кладки** наружных стен зданий применяют главным образом цементные и смешанные растворы (цементно-известковые и цементно-глиняные) марок 10, 25 и 50 в зависимости от влажностных условий и требуемой долговечности здания. В кладке перемычек, простенков, карнизов, столбов марка может быть повышена до 100.

Виброкирпичные панели изготовляют с применением растворов марки 75, 100, 150, приготовленных на портландцементе и шлакопортландцементе.

Монтажные растворы для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из легкобетонных панелей должны иметь марку не ниже 50, а для панелей из тяжелого бетона - не ниже 100.

Минимальные расходы цемента для растворов различного назначения 75-125 кг/м^3 песка принимают для подземной кладки зданий в зависимости от относительной влажности воздуха в помещениях, а для кладки фундаментов - в соответствии с влажностью грунтов.

Для кладки во влажных грунтах и ниже уровня грунтовых вод применяют растворы на портландцементе с активными минеральными добавками или на шлакопортландцементе (с минимальным расходом цемента 125 кг/м^3).

Штукатурные растворы. Для наружных каменных и бетонных стен зданий применяют цементно-известковые растворы, а для оштукатуривания деревянных поверхностей в районах с сухим климатом используют известково-гипсовые растворы. Внутреннюю штукатурку стен и покрытий здания при относительной влажности воздуха помещений до 60% выполняют из известковых, гипсовых, известково-гипсовых и цементно-известковых растворов.

Подвижность штукатурных растворов и предельная крупность применяемого песка для каждого слоя штукатурки различны. Подвижность раствора для подготовительного слоя при нанесении механизированным способом составляет 6-10 см, а при ручном труде - 8-12 см. Наибольшая крупность песка при этом должна быть не выше 2,5 мм. Для отделочного слоя применяют мелкие пески крупностью не более 1,2 мм. Для увеличения подвижности штукатурных растворов вводят гидрофобно-пластифицирующие добавки.

Фирма "Кнауф" (Германия) выпускает для отечественного рынка гипсовые штукатурные смеси "Гольдбанд" - для бетонных и кирпичных поверхностей и "Ротбанд" - для оштукатуривания потолков и стен из любых материалов. Эти смеси отличаются комплексом высоких технологических и эксплуатационных свойств.

Декоративные растворы предназначены для отделочных слоев стеновых панелей и блоков, наружной и внутренней отделки зданий. Эти растворы изготовляют на белом, цветном и обычном портландцементах; для цветных штукатурок внутри зданий применяют также строительный гипс и известь. Заполнителем служит чистый кварцевый песок либо дробленые пески из белого известняка, мрамора и т.п. Для лицевого отделочного слоя панелей наружных стен (из легкого бетона) применяют раствор марки 50, для отделки железобетонных конструкций - 150 с морозостойкостью не ниже 35.

Гидроизоляционные растворы для гидроизоляционных слоев и штукатурок обычно изготовляют состава 1:2,5 или 1:3,5 (цемент:песок по массе), применяя портландцемент, расширяющиеся цементы, пуццолановый портландцемент. Причем в составы на портландцементе должны быть введены добавки (жидкое стекло, хлорное железо, водорастворимые смолы и др.).

Инъекционные цементные растворы применяют для заполнения каналов в предварительно напряженных конструкциях и уплотнения бетона. Марка раствора должна быть не ниже 300, поэтому используют портландцемент марки 400-500.

Рентгенозащитный раствор приготовляют на баритовом песке ($BaSO_4$) (предельной крупностью 1,25 мм), применяя портландцемент или шлакопортландцемент. В него вводят добавки, содержащие легкие элементы: литий, бор и др.

§ 5. Сухие смеси

Строительные сухие смеси – это композиции заводского изготовления на основе минеральных вяжущих веществ, включающие заполнители и добавки. В отдельных случаях в качестве вяжущего могут быть использованы водорастворимые или водоэмульгируемые полимеры. На место производства строительных работ сухие смеси доставляются в расфасованном виде, причем для их использования по назначению достаточно только добавить необходимое количество воды.

Сухие смеси по сравнению с товарными и бетонными смесями имеют ряд преимуществ: сокращение количества технологических операций для перевода сухих смесей в рабочее состояние; повышение качества строительных работ благодаря заводскому приготовлению смесей; сокращение транспортных расходов на 15%; сокращение отходов растворов на 5…7% в результате порционного приготовления; повышение производительности труда на 20…25% вследствие повышения пластичности растворов.

В настоящее время сухие смеси являются одним из направлений технического прогресса в строительстве, их применяют в качестве кладочных, монтажных и штукатурных растворов, шпатлевок, плиточных клеев, составов для наливных полов, ремонтных составов.

Материалы, применяемые для сухих смесей. В качестве вяжущего используют порошкообразные минеральные вяжущие: портландцемент, строительный гипс, воздушную известь. В отдельных случаях применяют в качестве связующего порошкообразные полимеры, которые растворяются в воде, либо образуют эмульсии (эфиры целлюлозы, поливинилацетат, акрилаты).

В качестве заполнителя широко применяется песок для строительных работ с модулем крупности 1…2, причем наибольшая крупность зерен не должна превышать 1,25 мм. Для легких растворов применяют пористые вспученные пески (перлитовые, вермикулитовые, керамзитовые). Для шпатлевок применяют известняковую муку и порошкообразный мел.

Большую роль в технологии сухих смесей играют добавки. Поскольку растворные смеси, приготавливаемые из сухих смесей, укладываются, как правило, на пористые основания тонким слоем, то для обеспечения пластичности и водоудерживающей способности применяются неорганические и органические пластифицирующие добавки: глина, воздушная известь, зола ТЭС; лигносульфонат ЛСТ, СНВ, суперпластификатор С-3.

Для повышения адгезии, трещиностойкости и непроницаемости в состав сухих смесей вводят полимерные добавки, которые, как указывалось выше, должны находиться в порошкообразном состоянии, быть водорастворимыми либо образовывать эмульсии с водой.

Для производства работ при отрицательных температурах в состав сухих смесей вводят противоморозные добавки: поташ, нитрит нитрата натрия, формиат. При этом особые требования предъявляются к гигроскопичности добавок.

Вода для затворения сухих смесей не должна содержать вредных примесей.

Показатели качества сухих смесей должны соответствовать области применения смеси. Если сухая смесь используется в качестве кладочного раствора, то у нее должен быть следующий комплекс показателей качества: пластичность, водоудерживающая способность, предел прочности при сжатии, морозостойкость.

В зависимости от назначения растворных смесей изготовление их осуществляется в заводских условиях, на автоматизированных производствах. Технология производства сухих смесей складывается из следующих операций: поступаемый с карьера песок или гравийно-песчаная смесь подвергается тепловой обработке в сушильных агрегатах, где их влажность доводят до 0,5%, затем производят рассев на ситах до нужных фракций. Просеянный песок после дозирования направляется в смеситель принудительного действия. В этот же смеситель загружают и другие компоненты в необходимом количестве. Отдозированные материалы перемешивают до получения однородной массы. Полученную смесь затаривают в емкости, необходимые для реализации и подают на склад готовой продукции. Все заводское оборудование должно быть в пылезащищенном исполнении.

Лидером по производству сухих строительных смесей в России является международная группа «Кнауф», заводы которой оснащены современным оборудованием. Готовые смеси хранят в сухом месте, а смеси, модифицированные полимерами, при температуре не выше 40 ^{0}C.

Вопросы для самоконтроля

1. Для каких целей предназначены строительные растворы?
2. Назовите составы строительных растворов.
3. Перечислите основные свойства строительных растворов.
4. Что такое смешанные растворы?
5. В чем прогрессивность применения сухих смесей?

Дополнительная литература

1. *Шепелев А.М.* Штукатурные работы в строительстве. - М: 1986.
2. *Айрапетов Д.П.* Архитектурное материаловедение. - М.: 1983.
3. *Козлов В.В.* Сухие строительные смеси. - М.: АСВ, 2000.

В. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Глава XII. ЛЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Древесина относится к одному из весьма распространенных строительных материалов с многовековым опытом применения. Этому в немалой степени способствует то, что она самовосстанавливающийся материал. Россия является великой державой, занимающей первое место в мире по величине лесных массивов. Особенно велики запасы в Сибири, ценные породы древесины имеются в Карелии, на Кавказе, Дальнем Востоке.

Потребность в лесоматериалах удовлетворяется путем комплексной и глубокой переработки древесины. Наряду с такими традиционными материалами, как круглый лес, доски, брусья, шпалы и т.п., все шире применяют клееные деревянные конструкции и разнообразные изделия, получаемые из отходов лесообработки. Отходы от переработки древесины (горбыль, рейки, стружки, опилки и т.п.) составляют значительную долю (50-60%) заготавливаемой древесины. Эти отходы, а также неделовую (дровяную) древесину превращают, используя хорошо освоенную технологию, в древесно-стружечные и древесно-волокнистые плиты с ценными и разнообразными свойствами. На передовых деревообрабатывающих комбинатах коэффициент использования древесного сырья доходит до 0,98. Если оценить все отходы лесной промышленности при заготовке, транспортировании, хранении и переработке древесины, то в наиболее передовых странах в этой области (Швеция, Финляндия, Германия) потери составляют 5-7%, у нас они значительно выше. Это приводит к увеличению заготовки древесины и уничтожению лесов, что в свою очередь связано с соответствующими экологическими последствиями.

Высокая прочность и упругость древесины сочетаются с малой плотностью, а следовательно, с низкой теплопроводностью. Древесина морозостойка, не растворяется в воде и органических растворителях. Хорошо известна легкость обработки древесины, удобство скрепления деревянных элементов с помощью клея, врубок, гвоздей и пр. Вместе с тем древесина имеет ряд недостатков, ограничивающих ее область применения в строительстве: анизотропию

свойств, вследствие волокнистой структуры; пороки структуры; гигроскопичность и, как следствие, влажностные деформации; загниваемость и возгораемость.

Однако технологическими мероприятиями все эти недостатки сравнительно легко устраняются.

Качество древесины зависит от породы древесины. Древесные породы подразделяются на две основные группы: *хвойные* и *лиственные*. К хвойным породам, широко используемым в строительстве, относят сосну, лиственницу, ель, пихту и кедр. Лиственные породы в строительстве используют значительно реже, чем хвойные. Среди многообразия лиственных пород наибольшее применение в строительстве имеют дуб, ясень, бук, береза, осина.

Древесина хвойных пород применяется для изготовления строительных конструкций жилых, общественных, промышленных зданий, сооружений постоянного и временного назначения. Ель и пихта имеют пониженную по сравнению с сосной и лиственницей способность к загниванию. Древесину лиственных пород (бука, березы, ольхи, осины, липы и тополя) применяют для изготовления конструкций и изделий: наклонных стропил (за исключением березы) и обрешетки, доступных для осмотра и проветривания; столярных перегородок, устанавливаемых внутри зданий; внутренних дверей и фрамуг (последние за исключением березы); внутренних дверей и фрамуг для помещений с относительной влажностью воздуха не свыше 70%; раскладок, плинтусов; галтелей; наличников; досок для чистых полов; проступей лестниц; деревянных щитов для перекрытий и междукомнатных перегородок при условии обязательного антисептирования древесины каждого слоя. Применение лиственных пород допускается для временных сооружений и вспомогательных устройств (опалубки, лесов, креплений котлованов, оград и др.)

В последние годы начинает развиваться строительная биотехнология и биокомпозиты: в производстве древесных плит на природных клеящих веществах и клеев на основе технического лигносульфоната, получаемого из древесины и другого растительного сырья.

§ 2. Строение и состав

Растущее дерево состоит из корневой системы, ствола и кроны. Промышленное значение имеет ствол, так как из него получается от 60% до 90% древесины.

Макроструктурой называют строение ствола дерева, видимое невооруженным глазом или через лупу, **микроструктурой** - видимое под микроскопом. Обычно изучают три основных разреза ствола: поперечный (торцовый), радиальный, проходящий через ось ствола, и тангенциальный, проходящий по хорде вдоль ствола (рис. 12.1, а).

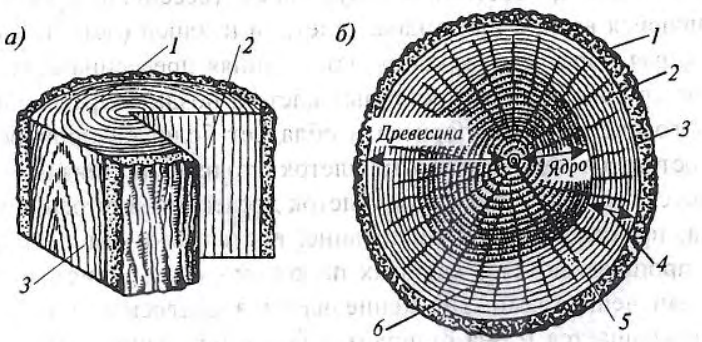


Рис.12.1. Строение ствола дерева:
а) основные разрезы ствола; *1* - поперечный (торцовый); *2* - радиальный; *3* - тангенциальный; *б)* строение ствола дерева на поперечном разрезе; 1 -кора; *2* - камбий; *3* - луб; *4* - заболонь; *5* - сердцевина; *6* - сердцевинные лучи

Макроструктура

При рассмотрении разрезов ствола дерева невооруженным глазом или через лупу можно различить следующие основные его части: сердцевину, кору, камбий и древесину (рис. 12.1, б).

Сердцевина состоит из клеток с тонкими стенками, слабо связанных друг с другом. Сердцевина совместно с древесной тканью первого года развития дерева образует сердцевинную трубку. Эта часть ствола дерева легко загнивает и имеет малую прочность.

Кора состоит из кожицы или корки, пробковой ткани и луба. **Корка или кожица и пробковая ткань** защищают дерево от вредных влияний среды и механических повреждений. Луб проводит питательные вещества от кроны в ствол и корни.

Под лубяным слоем у растущего дерева располагается тонкий кольцевой слой живых клеток - **камбий.** Ежегодно в вегетативный период камбий откладывает в сторону коры клетки луба и внутрь ствола, в значительно большем объеме - клетки древесины. Деление

клеток камбиального слоя начинается весной и заканчивается осенью.

Поэтому древесина ствола (часть ствола от луба до сердцевины) в поперечном разрезе состоит из ряда концентрических, так называемых, **годичных колец**, располагающихся вокруг сердцевины. Каждое годичное кольцо состоит их двух слоев: (весенней) древесины, образовавшейся весной или в начале лета, и поздней (летней) древесины, которая образуется к концу лета. Ранняя древесина светлая и состоит из крупных, но тонкостенных клеток; поздняя древесина более темного цвета, менее пориста и обладает большей прочностью, так как состоит из мелкополостных клеток с толстыми стенками.

В процессе роста дерева стенки клеток древесины внутренней части ствола, примыкающей к сердцевине, постепенно изменяют свой состав и пропитываются у хвойных пород смолой, а у лиственных - дубильными веществами. Движение влаги в древесине этой части ствола прекращается и она становится более прозрачной, твердой и менее способной к загниванию. Эту часть ствола, состоящую из мертвых клеток, называют у некоторых пород ядром, у других - спелой древесиной. Часть более молодой древесины ствола ближе к коре, в которой еще изменяются живые клетки, обеспечивающие перемещение питательных веществ от корней к кроне, называют **заболонью**. Эта часть древесины имеет большую влажность, относительно легко загнивает, малопрочна, обладает большей усушкой и склонностью к короблению.

Породы, у которых ядро отличается от заболони более темной окраской и меньшей влажностью, называют **ядровыми** (сосна, лиственница, дуб, кедр и др.). Породы, у которых центральная часть ствола отличается от заболони только меньшей влажностью, называют **спелодревесными** (ель, пихта, бук, липа и др.). Древесные породы, у которых нельзя заметить значительного различия между центральной и наружной частями древесины ствола, носят название **заболонные породы** (береза, клен, ольха, осина и др.).

В древесине всех пород располагаются **сердцевинные лучи**, которые служат для перемещения влаги и питательных веществ в поперечном направлении и создания запаса этих веществ на зимнее время. У хвойных пород они обычно очень узки и видны только под микроскопом. Древесина легко раскалывается по сердцевинным лучам, по ним же она растрескивается при высыхании.

Изучая строение древесины под микроскопом, можно увидеть, что основную ее массу составляют клетки веретенообразной формы, вытянутые вдоль ствола. Некоторое количество клеток вытянуто в горизонтальном направлении, т.е. поперек основных клеток (клетки сердцевинных лучей).

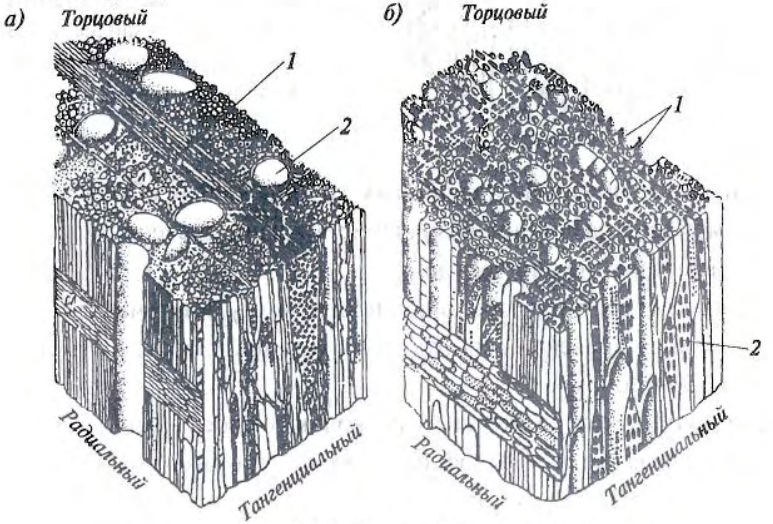


Рис. 12.2. Разрезы древесины:

а) дуба (кольцесосудистая порода); *1* - многорядный луч; *2* - смоляной ход; *б)* клена (рассеяннососудистая порода); *1* - смоляной ход; *2* - многорядный луч

В древесине лиственных пород имеются мелкие и крупные сосуды, имеющие форму трубочек, идущих вдоль ствола. В растущем дереве по сосудам передвигается влага от корней к кроне. По распределению сосудов в поперечном сечении лиственные породы разделяют на кольцесосудистые (дуб, вяз, ясень и др.) (рис. 12.2,а) и рассеяннососудистые (бук, граб, ольха, береза, осина и др.) (рис. 12.2,а).

У хвойных пород сосудов нет, их функции выполняют удлиненные замкнутые клетки, называемые **трахеидами** (рис. 12.3). У большинства хвойных пород, преимущественно в слоях поздней древесины, расположены **смоляные ходы** - межклеточные пространства, заполненные смолой.

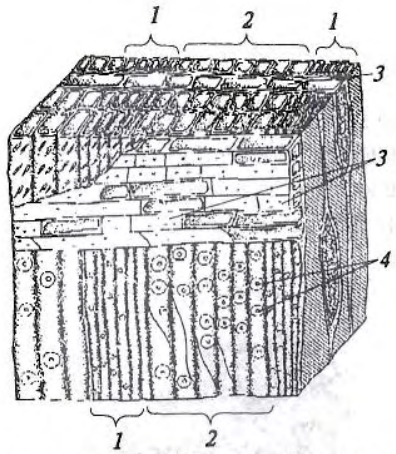


Рис. 12.3. Микроструктура древесины хвойных пород: 1 - клетки (трахеиды) поздней древесины; 2 - клетки ранней древесины; 3 - запасающие клетки сердцевинных лучей; 4 - поры в стенках клеток

Одинаковые по форме и функциям группы клеток объединяются в ткани, имеющие различное назначение в жизни древесины: проводящие, запасающие, механические.

Живая клетка имеет оболочку, протоплазму, клеточный сок и ядро. Срубленная древесина состоит из отмерших клеток, т.е. только из клеточных оболочек.

Оболочки клеток сложены из нескольких слоев очень тонких волоконец, называемых **микрофибриллами**, которые компактно уложены и направлены по спиралям под разным углом к продольной оси клетки в каждом слое (сходство с канатом). Иногда микрофибриллы ориентированы по встречным спиралям. Микрофибрилла состоит из длинных нитевидных цепных молекул целлюлозы - высокомолекулярного природного полимера $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n > 2500$, со сложным строением макромолекул. Макромолекулы целлюлозы эластичны и сильно вытянуты.

В клеточной оболочке содержатся и другие природные полимеры - **лигнин** и **гемицеллюлоза**, которые размещаются преимущественно между микрофибриллами, а также небольшое количество неорганических веществ в виде солей щелочноземельных металлов.

Как по структуре, так и по физико-механическим свойствам, древесина является **природным композиционным материалом.**

3. Свойства древесины

Физические свойства

Истинная плотность древесины изменяется незначительно, так как древесина всех деревьев состоит в основном из одного и того же вещества - **целлюлозы.** В связи с этим истинную плотность древесины можно принять равной 1,54 г/см^3. Плотность древесины разных пород и даже древесины одной и той же породы колеблется в весьма широких пределах, поскольку строение и пористость растущего дерева зависят от почвы, климата и других природных условий. С увеличением влажности и плотность древесины возрастает. Свежесрубленная древесина значительно тяжелее древесины воздушно-сухой, имеющей влажность 15% (табл. 12.1).

Влажность выражают обычно в % по отношению к массе сухой древесины. В древесине различают **гигроскопическую влагу**, связанную в стенках клеток, и **капиллярную влагу**, которая свободно заполняет полости клеток и межклеточное пространство.

Предел гигроскопической влажности (в среднем он составляет около 30%) соответствует полному насыщению стенок клеток древесины водой. Полная влажность древесины (считая гигроскопическую и капиллярную влагу) может значительно превышать 30%. Например, влажность свежесрубленного дерева может колебаться от 40 до 120%, а при выдерживании древесины в воде ее влажность может возрасти до 200%. При длительном нахождении влажной древесины на воздухе она постепенно высыхает и достигает равновесной влажности.

Равновесная влажность зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Для определения равновесной влажности пользуются номограммой (рис.12.4). Равновесная влажность **комнатно-сухой** древесины составляет 8-12%. Влажность **воздушно-сухой** древесины после продолжительной сушки на открытом воздухе составляет 15-18%.

Показатели свойств (плотность, прочность), полученные при испытании древесины различной влажности, для возможности сопоставления приводят к стандартной влажности, равной 12%.

Таблица 12.1

Плотность и пористость древесины некоторых хвойных и лиственных пород

Порода	Район произрастания	Плотность, кг/м^3		Пористость, %	Среднее число годовых слоев в 1 см
		При 15% влажности	Свежесрубленной		
Сосна	Европейская часть страны	530	860	53-70	6
Ель	Тоже	460	790	62-75	12
Лиственница	Североевропейская часть стра-	680	840	46-73	10
Кедр	Западная Сибирь	440	880	60-80	5
Пихта	Урал	390	800	55-81	8
Дуб	Европейская часть страны	720	1030	32-61	6
Береза	Тоже	640	880	50-61	5
Бук	Кавказ	650	950	40-70	7
Осина	Европейская часть страны	500	760	62-80	5

Усушка, разбухание и коробление. Колебания влажности волокон древесины влекут за собой изменение размеров и формы досок, брусьев и других изделий из древесины. При увлажнении сухой древесины до достижения ею предела гигроскопичностей стенки древесных клеток утолщаются, разбухают, что приводит к увеличению размеров и объема деревянных изделий. Как видно из рис.12.5, свободная влага, заполняющая полости клеток, на размерах древесины не отражается. Усушка древесины происходит за счет удаления связанной влаги из стенок клеток, т.е. если влажность древесины становится меньше предела гигроскопичности, то усушка достигает максимального значения при полном удалении влаги, содержащейся в клеточных стенках.

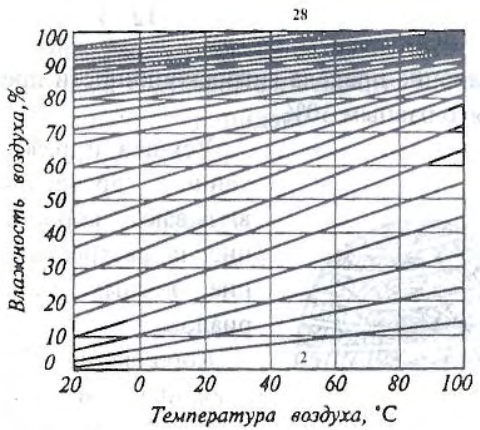


Рис. 12.4. Номограмма равновесной влажности древесины (2-28% - величины равновесной влажности древесины)

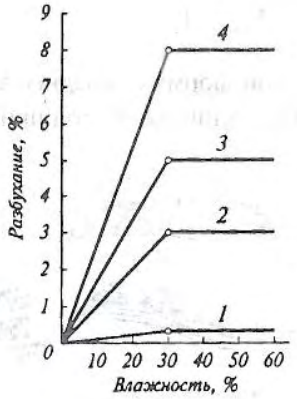


Рис. 12.5. Влияние влажности древесины на разбухание: 1 - вдоль волокон; *2* - в радиальном направлении; *3* - *в* тангенциальном направлении; *4* - объемное разбухание

Вследствие неоднородности строения, древесина усыхает в различных направлениях неодинаково. Вдоль оси ствола (вдоль волокон) максимальная линейная усушка сравнительно невелика - около 0,1% (1 мм на 1 м), в радиальном направлении 3-6% (3-6 см на 1 м), а в тангенциальном - 6-12% (6-12 см на 1 м).

При высушивании древесины от предела гигроскопичности (который характеризуется влажностью около 30%) до воздушно-сухого состояния (соответствующего 15-18% влажности) усушка составит примерно половину своего максимального значения. При высушивании до комнатно-сухого состояния (т.е. влажности 8-10%) усушка составит три четверти максимальной.

Объемную усушку Y_V (%) вычисляют, не учитывая продольной усушки, с точностью до 0,1% по формуле

$$Y_V = \frac{ab - a_0 b_0}{ab} 100, \qquad (12.1)$$

где a и b - размеры поперечного сечения образца при данной начальной влажности; a_o и b_o – то же, в абсолютно сухом состоянии.

Степень усушки древесины характеризуется **коэффициентом объемной усушки** $K_{y.}$, который вычисляют на 1% влажности с точностью до 0,01% по формуле

$$K_y = Y_{Vmax}/W_{ПГ}. \qquad (12.2)$$

В этой формуле среднее значение предела гигроскопичности древесины различных пород принято равным 30%.

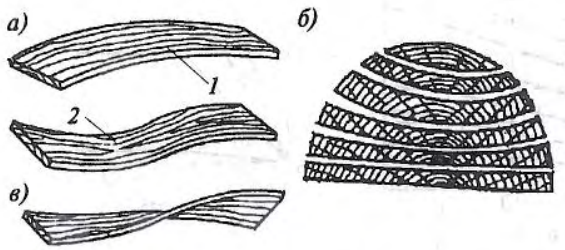


Рис.12.6. Коробление досок в результате усушки:
а) продольное; *1* - простое; *2* - сложное; *б)* поперечное; *в)* крыловатость

Усушка и разбухание древесины вызывают коробление и растрескивание лесных материалов.

Коробление деревянных изделий (рис.12.б) является следствием разницы в усушке древесины в тангенциальном и радиальном направлениях и неравномерности высыхания. Неравномерность усушки и коробление вызывают появление внутренних напряжений в древесине и растрескивание пиломатериалов и бревен. Широкие доски коробятся больше, чем узкие, поэтому для настилки пола и столярных изделий применяют доски шириной 10-12 см.

Для предотвращения коробления и растрескивания деревянных изделий используют древесину с той равновесной влажностью, которая будет в условиях эксплуатации. Например, для столярных изделий влажность древесины не должна превышать 8-10%, а для наружных конструкций 15-18%. Чтобы защищать древесину от последующего увлажнения, ее покрывают красками, лаком и эмалями.

В круглом лесе и пиломатериалах трещины усушки образуются, в первую очередь, на торцах. Для уменьшения растрескивания торцы бревен, брусьев, досок обмазывают смесью из извести, соли и клея или другими составами.

Текстура - это рисунок древесины, зависящий от сочетания ее видимых элементов: годовых слоев, сердцевинных лучей, сосудов. Цвет и текстура древесины характерны для каждой породы дерева. Текстура дуба, чинары, бука, груши и некоторых других пород высоко ценится в отделочных работах. Древесные породы тропического пояса могут иметь своеобразные цвета, например древесина эбенового дерева - черный, бакута - темно-оливковый. Блеск древесины зависит от плотности и степени обработки. Блеск придается древесине путем

полирования и покрытия лаками. Древесина теряет блеск при загнивании. Запах древесины зависит от содержания в ней смолистых, эфирных и дубильных веществ. Например, древесина лиственницы и сосны пахнет скипидаром.

Теплопроводность сухой древесины незначительна: сосны поперек волокон - 0,17 Вт/(м·°С); вдоль волокон 0,34 Вт/(м·°С). Теплопроводность древесины зависит от ее пористости, влажности и направления потока теплоты. Теплозащитные свойства древесины широко используются в строительстве.

Электропроводность древесины зависит от ее влажности. Древесина, используемая для электрической проводки (розетки, доски и т.п.), должна быть сухой. Электрическое сопротивление сухой древесины в среднем составляет 75×10^7 Ом·см, а сырой древесины - в десятки раз меньше.

Механические свойства

Целлюлозные цепочки всегда представляют собой нитевидные молекулы. Растительная клетка имеет форму трубки, стенки которой образованы длинными, уложенными приблизительно параллельно нитевидными молекулами целлюлозы.

Таким образом, с инженерной точки зрения любую древесину можно считать пучком параллельных трубок. Поскольку материал этих трубок по существу для всех пород одинаков, то прочность древесины зависит от толщины стенок и, следовательно, от средней плотности древесины.

Механические свойства древесины не отличаются от свойств, которые можно ожидать от пучка трубок или волокон.

Прочность древесины определяют путем испытания малых, чистых (без видимых пороков) образцов древесины. Прочность древесины характеризуется пределами ее прочности при сжатии, растяжении, статическом изгибе, скалывании. Кроме того, могут определяться условный предел прочности при местном смятии и предел прочности при перерезании поперек волокон.

Прочность древесины как анизотропного волокнистого материала в большей степени зависит от того, под каким углом к волокнам направлена сила (рис. 12.7).

Диаграмма растяжения-сжатия древесины вдоль волокон представлена на рис.12.8. В области растяжения она практически линейна, а дерево при этом ведет себя как хрупкий материал.

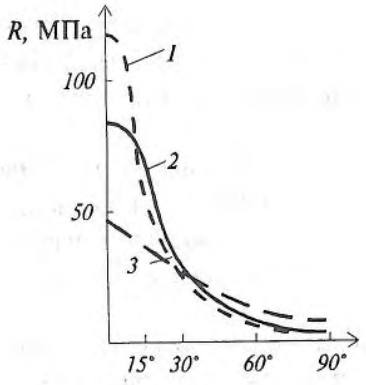


Рис.12.7. Влияние наклона волокон древесины на ее прочность при растяжении *1*, изгибе *2*, сжатии *3*

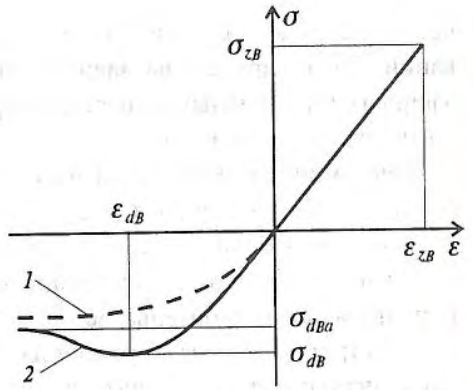


Рис.12.8. Диаграмма для древесины при нагружении вдоль волокон: *1* - большое количество пороков древесины; *2* - нормальное качество древесины

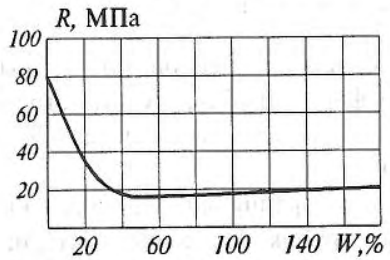


Рис.12.9. Влияние влажности древесины на прочность при сжатии вдоль волокон

Прочность древесины зависит также от породы дерева, средней плотности, косвенно характеризующей пористость древесины, наличия пороков и влажности. Как видно из рис. 12.9, прочность древесины понижается, когда ее влажность возрастает от 0 до 30% (до предела гигроскопической влажности), при этом в интервале влажности 8-20% понижение прочности прямо пропорционально приросту влажности:

$$R_{12} = R_W [1 + \alpha (W - 12)], \qquad (12.3)$$

где R_{12}, R_W - предел прочности образцов соответственно при 12% и фактической влажности в момент испытаний; α - коэффициент изменения прочности при изменении влажности на 1%; при сжатии и изгибе $\alpha = 0{,}04$, при скалывании $\alpha = 0{,}03$; W - влажность образца (%) в момент испытаний.

Предел прочности древесины с влажностью в момент испытания равной или больше предела гигроскопической влажности приводят к влажности 12% по формуле

$$R_{12} = R_W K_{12}, \qquad (12.4)$$

где K_{12} - пересчетный коэффициент, имеющий различные значения для разных пород и вида испытаний (указан в соответствующих ГОСТах).

Основные физико-механические свойства древесины хвойных и лиственных пород, применяемых в строительстве, приведены в табл. 12.2.

Прочность древесины определяют на небольших лабораторных образцах без пороков.

Прочность при сжатии определяют вдоль и поперек волокон. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон в 3-6 раз больше, чем прочность поперек волокон. Например, предел прочности при сжатии образцов воздушно-сухой сосны вдоль волокон - около 60 МПа, а поперек - только 20 МПа.

Прочность древесины при растяжении вдоль волокон в среднем в 2,5 раза превосходит соответствующий предел прочности при сжатии.

Удельная прочность древесины при растяжении вдоль волокон примерно такая же, как у высокопрочной стали и стеклопластика (табл.12.3).

Следовательно, древесина по своей удельной прочности конкурирует с современными конструкционными материалами. Однако использовать высокую прочность древесины не так легко, поскольку сучки, трещины и другие пороки сильно снижают ее механические свойства. В этом отношении большие возможности дает применение древесины в клееных деревянных конструкциях.

Прочность при статическом изгибе древесины очень высокая: она примерно в 1,8 раза превышает прочность при сжатии вдоль волокон и составляет около 70% прочности при растяжении. Поэтому древесина (балки, настилы и т.п.) чаще всего работает на изгиб.

К тому же дерево стойко к концентрации напряжений ввиду наличия внутренних поверхностей раздела между волокнами.

Прочность древесины при скалывании имеет большое значение при устройстве врубок, клеевых швов и т.д. в деревянных конструкциях. Предел прочности при скалывании вдоль волокон для основных древесных пород составляет 6,0-13 МПа, а при скалывании поперек волокон - в 3-4 раза выше. Кроме этих испытаний может проводиться определение предела прочности древесины при перерезании поперек волокон.

Таблица 12.3

Основные физико-механические свойства некоторых пород древесины

(среднее значение при влажности 12%)

Порода дерева	Плотность, кг/м^3	Коэфф. объемной усушки, %	Предел прочности (МПа) вдоль волокон при:			
			растяжении	сжатии	скалывании радиальном	статическом изгибе
Хвойные породы						
Лиственница	660	0,52	125	64,5	9,9	111,5
Сосна обыкновенная	500	0,44	103,5	48,5	7,5	86
•Ель	445	0,43	103	44,5	6,9	79,5
Пихта сибирская	375	0,39	67	39	6,4	68,5
Лиственные породы						
Дуб	690	0,43	123	57,5	10,2	107,5
Береза	630	0,54	168	55	9,3	109,5
Бук	670	0,47	123	55,5	11,6	108,5
Липа	495	0,49	121	45,5	8,6	88
Ольха	520	0,43	101	44	8,1	80,5
Осина	495	0,41	125,5	42,5	6,3	78

Таблица 12.2

Удельная прочность при растяжении некоторых строительных материалов

Материалы	Предел прочности при растяжении R_P, МПа	Относительная плотность d	Удельная прочность R_P/d, МПа.
Древесина (сосна с 12%-ной влажностью)	115	0,53	213
Высокопрочная сталь	2000	7,85	255
Стеклопластик	400	2,0	200

Статическая твердость численно равна нагрузке, которая необходима для вдавливания в образец древесины половины металлического шарика радиусом 5,64 мм (при этом площадь отпечатка равна 1 см^2). Твердость древесины по торцу на 15-50% выше, чем в радиальном и тангенциальном направлениях. Мягкие породы (сосна, ель, пихта, ольха) имеют торцовую твердость 35-50 МПа, твердые породы (дуб, граб, береза, ясень, лиственница и др.) - 50-100 МПа, очень твердые (кизил, самшит) - более 100 МПа. Твердые породы труднее обрабатываются, но зато они обладают повышенной износостойкостью и лучше удерживают шурупы.

Твердость древесины понижается при увлажнении.

Ударную твердость H_W^y, (Дж/см^2) вычисляют по формуле

$$H_W^y = 4mgh / (\pi d^2) \qquad (12.5)$$

где m - масса стального шарика диаметром 2,5 мм, падающего на образец древесины; g - ускорение земного притяжения; h - высота падения шарика (по стандарту равна 50 см); d - средний геометрический диаметр отпечатка, вычисляемый по формуле $d = \sqrt{d_1 d_2}$, где d_1 - диаметр отпечатка поперек волокон; d_2 - то же вдоль волокон.

Ударную и статическую твердость пересчитывают к влажности 12%

Модуль упругости при статическом изгибе E_W древесины с влажностью W определяют, нагружая образец, покоящийся на двух опорах, двумя сосредоточенными силами.

Модуль упругости вычисляют по формуле

$$E_W = 3Pl^3/(64bh^3f), \qquad (12.6)$$

где P - нагрузка; l - расстояние между опорами (0,24 м); b и h - ширина и толщина образца; f - прогиб образца в зоне чистого изгиба.

Модуль упругости E_W образца с влажностью 8-20% пересчитывают к влажности 12% по формуле

$$E_{12} = E_W/[1 - \alpha_0(W - 12)]. \qquad (12.7)$$

Пересчетный коэффициент $\alpha = 0{,}01$ на 1% влажности.

Модуль упругости образцов с влажностью, равной или большей предела гигроскопичности, пересчитывают к влажности 12% по формуле

$$E_{12} = E_W k_{12}. \qquad (12.8)$$

Пересчетный коэффициент k_{12} равен 1,25 для хвойных пород; для различных лиственных пород он колеблется от 1,12 до 1,3.

Модуль упругости воздушно-сухой сосны и ели - 10000-15000 МПа, он возрастает с увеличением плотности древесины, а увлажнение его снижается. Известно, что гнуть сырую древесину легче, чем сухую. Еще больше облегчает гнутье древесины пропаривание - это удобный способ нагрева древесины без ее высушивания.

Особенностью древесины является **ползучесть**, проявляющаяся особенно во влажных условиях. Следствием ползучести является постепенное увеличение деформаций (прогибов балок, провисание тесовых крыш и т.д.) при длительном действии нагрузки.

Факторы, влияющие на механические свойства древесины. В табл.12.2 сопоставлены плотность и показатели прочности древесины хвойных и лиственных пород, произрастающих в России.

Общая тенденция состоит в том, что, чем плотнее древесина, тем большую прочность она имеет. Плотность и прочность древесины возрастает, если лес растет на возвышенных местах и песчаных почвах.

Прочностные характеристики древесины несколько снижаются с повышением температуры.

Стандартные методы определения механических свойств на малых "чистых" образцах позволяют сравнивать между собой прочность древесины одной породы или разных пород и оценивать общее качество древесины из данного лесонасаждения. Вместе с тем фактическая прочность строительной древесины в элементах стандартных размеров (досок, брусьев, бревен), в которых имеются те или другие дефекты строения и другие особенности, может быть значительно ниже. Поэтому при нормировании допускаемых напряжений (расчетных сопротивлений) устанавливаются относительно большие коэффициенты запаса прочности.

По этой причине в отличие от других строительных материалов сорта лесоматериалов устанавливают не по прочности образцов, а на основании тщательного осмотра материала и оценки имеющихся в нем пороков.

§ 4. Пороки древесины

Сучки и трещины

Сучки - части ветвей, заключенные в древесине, они нарушают однородность строения древесины, вызывают искривление волокон и затрудняют механическую обработку. По состоянию древесины различают сучки здоровые, загнившие, гнилые и табачные. По степени срастания сучки могут быть сросшиеся, частично сросшиеся, несросшиеся и выпадающие несросшиеся. По взаимному расположению выделяют три разновидности сучков: разбросанные, групповые и разветвленные (рис. 12.10). Кроме того, сучки классифицируют по положению в сортименте, форме разреза и степени зарастания. Стандарт устанавливают правила измерения сучков и других пороков древесины.

Трещины представляют собой разрывы древесины вдоль волокон. Они нарушают целостность лесоматериалов, снижают их механическую прочность и долговечность. Метиковые трещины - это радиально направленные трещины в ядре или заболони, отходящие от сердцевины (рис. 12.11). Они возникают в растущем дереве и увеличиваются в срубленном дереве при его высыхании. Простые метиковые трещины состоят из одной или двух трещин, расположенных на обоих торцах бревна в одной плоскости. Сложные метиковые трещины состоят из одной или нескольких трещин, расположенных на торцах бревна в разных плоскостях.

Морозные трещины, образующиеся в растущем дереве, направлены радиально, проходят из заболони в ядро и имеют значительную протяженность по длине ствола дерева. Трещины усушки, возникающие в срубленном дереве по мере его высыхания, тоже направлены по радиусу торцового среза. Они отличаются от метиковых и морозных трещин меньшей глубиной и протяженностью (не более 1 м). Отлупные трещины проходят между годичными слоями, возникая в растущем дереве, увеличиваются в срубленном дереве при его высушивании.

В зависимости от глубины различают трещины: неглубокие (глубиной не более 1/10 толщины изделия); глубокие (более 1/10 толщины), но не имеющие второго выхода на боковую поверхность изделия; сквозные (имеющие два выхода на поверхность). Сомкнутые трещины имеют ширину не более 0,2 мм, а разошедшиеся трещины - более 0,2 мм. По расположению в изделии трещины могут быть боковыми, пластовыми, кромочными, торцовыми.

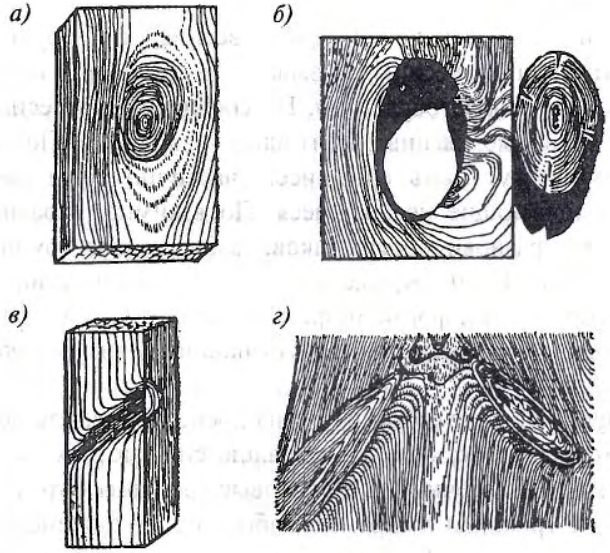


Рис. 11.10. Разновидности сучков по срастанию с древесиной и по форме:
а) сросшийся здоровый; *б*) несросшийся (выпадающий); *в*) сшивной; *г*) разветвленный (лапчатый)

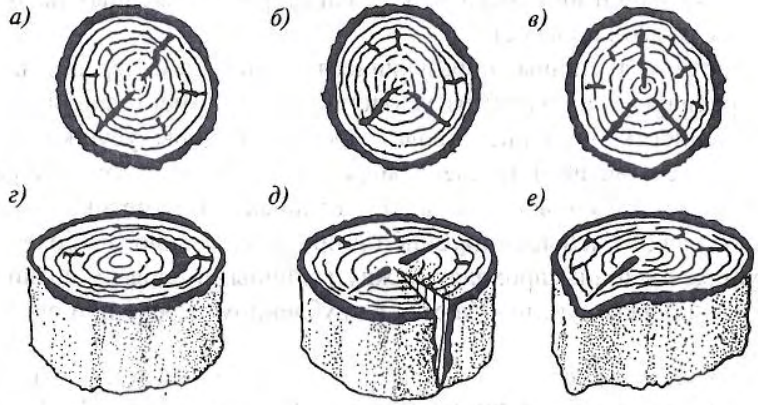


Рис. 11.11. Виды трещин:
а) метик простой; *б*), *в*) метик несогласный и крестовый; *г*) отлуп; *д*) морозобоина открытая; *е*) морозобоина закрытая

Сбежистость - это уменьшение диаметра круглых лесоматериалов от толстого к тонкому концу, превышающие нормальный сбег, равный 1 см на 1 м длины бревна. Этот же порок наблюдается у необрезанных пиломатериалов в виде ненормального уменьшения ширины досок по длине, превышающего допустимый предел. Сбежистость увеличивает отходы при распиловке и лущении бревен, обуславливает появление радиального наклона волокон в пиломатериалах и шпоне, а следовательно, и снижение прочности этих материалов.

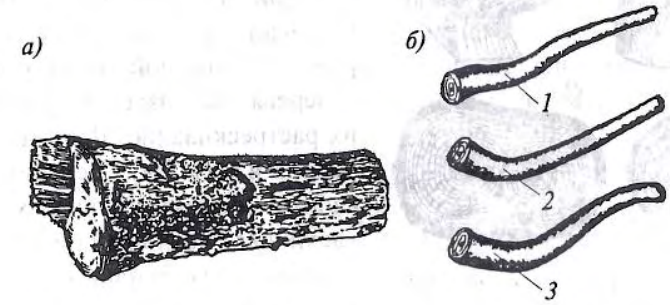


Рис. 12.12. Пороки формы ствола:
а) закомелистость; *б)* кривизна; *1, 2* - простая; *3* - сложная

Закомелистость проявляется в виде резкого увеличения комлевой (нижней) части ствола дерева. Различают округлую и ребристую закомелистость со звездчато-лопастной формой поперечного сечения бревна (рис. 12.12, а). Нарост - резкое местное утолщение ствола, имеющее различную форму и размеры.

Кривизна - искривление продольной оси бревен, обусловленное кривизной ствола дерева. Бывает простая и сложная кривизна (рис. 12.12, б), характеризующаяся несколькими изгибами.

Пороки строения древесины

Наклон волокон - непараллельность волокон древесины (рис. 12.13, а) продольной оси изделий (бревен, досок, брусьев и т.п.). Наклон увеличивает прочность древесины при раскалывании, но затрудняет ее механическую обработку и снижает прочность пиломате-

риалов при растяжении и изгибе вследствие перерезания волокон древесины.

Крень - ненормальное утолщение поздней древесины в годовых слоях; свойственно наклонно стоящим и искривленным деревьям (рис. 12.13,б).

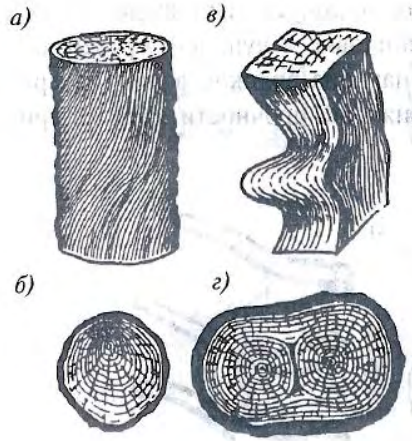


Рис. 12.13. Пороки строения древесины

а) наклон волокон; *б)* крень; *в)* свилеватость; *г)* двойная сердцевина

Свилеватость - волокнистое или беспорядочное расположение волокон древесины, чаще встречающееся у лиственных пород, преимущественно в комлевой части ствола (рис. 12.12, в).

Сердцевина - узкая центральная часть ствола, состоящая из рыхлой древесной ткани; попадая в деревянные изделия, усиливает их растрескивание. Двойная сердцевина в виде двух сердцевин со своими системами годовых слоев увеличивает отходы при обработке древесины, усиливает ее растрескивание (рис. 12.13).

Завиток - местное резкое искривление годовых слоев под влиянием сучков и проростей.

Пасынок - отмершая вторая вершина или толстый сук, пронизывающие ствол под острым углом к его продольной оси. Ухудшает однородность и механические свойства древесины.

Водослой - это участки ядра или заболони с ненормальной темной окраской, возникающие в растущем дереве вследствие повышенной влажности этих участков. Этот порок нередко является причиной растрескивания и гниения древесины, снижения ударной вязкости при изгибе.

Прорость в виде обросшего древесиной участка поверхности ствола с омертвевшими тканями и отходящая от него радиальная трещина возникает в растущем дереве при зарастании повреждений.

Рак - рана, возникающая на поверхности ствола растущего дерева вследствие жизнедеятельности грибков и бактерий.

Сухобокость возникает в местах повреждений (заруба, ожога, ушиба и т.п.); представляет собой омертвевший участок ствола.

Засмолок - участок древесины, обильно пропитанный смолой; присущ только хвойным породам. Он снижает ударную вязкость и водопроницаемость, затрудняет отделку - лакировку, окраску. Смоляной кармашек в виде полости, заполненной смолой встречается у хвойных пород, чаще всего у ели. Препятствует лицевой отделке и склейке древесины.

Химические окраски и грибные поражения

Неестественные окраски возникают в срубленном дереве в результате химических и биохимических процессов, в большинстве случаев, вызывающих окисление дубильных веществ. Бывают светлые и темные химические окраски, они не влияют на физико-механические свойства древесины, но могут портить внешний вид облицовочных материалов.

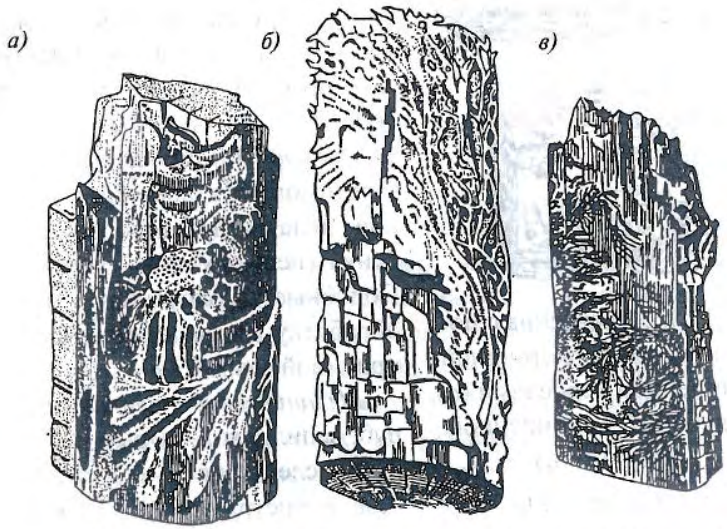


Рис. 12.14. Древесина, пораженная домовыми и дереворазрушающими грибами:

а) настоящим; *б)* белым; *в)* пленчатым

Ядровая гниль, развивающаяся в растущем дереве под действием дереворазрушающих грибов, существенно снижает механические свойства и сортность древесины. Наружная трухлявая гниль возникает вследствие поражения древесины дереворазрушающими грибами;

на поверхности пораженной древесины наблюдаются тяжи грибницы и плодовые тела, при этом пораженная древесина распадается на части и растирается в порошок (рис. 12.14). Процесс разрушения может развиваться не только в сырой, но и в относительно сухой древесине. Этот вид гнили резко снижает механические свойства древесины вплоть до полной ее непригодности. Такие пороки, как плесень, грибные окраски (побурение заболони), мало изменяют прочность древесины.

Прочие пороки

Червоточиной называют ходы и отверстия, проделанные в древесине насекомыми. Различают червоточину: *поверхностную*, проникающую в древесину не более чем на 3 мм (рис. 12.15); *неглубокую*, проникающую в древесину не более чем на 15 мм в круглых материалах и не более чем на 5 мм в пиломатериалах; *сквозную*, выходящую на две противоположные стороны материала.

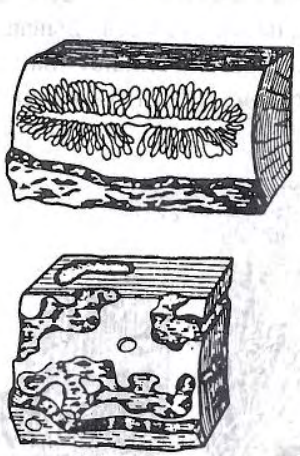


Рис.12.15. Древесина с поверхностной червоточиной, причиненной короедами (*а*), и глубокой, причиненной усачами (*б*)

Инородные включения - это присутствующие в древесине посторонние тела недревесного происхождения (песок, камни, гвозди и т.п.). Подобные включения затрудняют обработку древесины и могут быть причиной аварий.

Механические повреждения (заруб, запил, скол, вырыв и т.п.) являются следствием небрежного или неумелого применения механизмов и инструментов при обработке древесины. Они не только снижают механическую прочность, но и затрудняют использование лесоматериалов по назначению.

Покоробленность - это искривление пиломатериала, возникающее при распиловке, сушке и хранении. Различают простую, сложную покоробленность и крыловатость (см. рис. 12.6). Поскольку покоробленность изменяет форму пиломатериалов, то она затрудняет их обработку и использование по назначению.

§ 5. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания

К числу способов защиты древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания относят сушку древесины, конструктивные меры по предотвращению увлажнения конструкций в процессе эксплуатации, пропитку древесины **антисептиками** или **антипиренами.**

Сушка древесины может быть естественной и искусственной.

Разрушение древесины изделий и конструкций из нее грибковыми заболеваниями и насекомыми в большинстве случаев вызывается увлажнением конструкции, вызванным повышенной влажностью среды, нарушениями тепловлажностного режима при эксплуатации деревянных конструкций из-за отсутствия или недостаточной вентиляции и образования замкнутых пространств.

Для предупреждения разрушения древесины принимают ряд конструктивных мер: изолируют ее от грунта, камня и бетона, устраивают специальные каналы для проветривания, защищают деревянные конструкции от атмосферных осадков и т.п. Однако только мерами конструктивного характера нельзя полностью предохранить древесину от увлажнения и загнивания.

Защита древесины от гниения

Древесину защищают от гниения, предварительно обрабатывая ее различными химическими веществами - **антисептиками.** При выборе вида антисептика необходимо принимать во внимание следующие требования: антисептики должны обладать высокой токсичностью по отношению к грибам, быть стойкими, должны хорошо проникать в древесину, не иметь неприятного запаха, быть безвредными для человека и домашних животных, не ухудшать физико-механические свойства древесины и не вызывать коррозии металлических соединений и креплений деревянных элементов.

Для антисептирования древесины используют водорастворимые, органикорастворимые и масляные антисептики, а также антисептические пасты.

Водорастворимыми антисептиками пропитывают древесину, которая в процессе эксплуатации будет защищена от непосредственного увлажнения и вымывающего действия воды. Ниже дана краткая характеристика наиболее распространенных антисептиков этой группы.

Фторид натрия - белый порошок без запаха, в растворе древесину не окрашивает и не снижает ее прочность, не вызывает коррозии металла. При взаимодействии с известью, мелом, цементом, гипсом образует малорастворимый токсичный фтористый кальций. Антисептик сильный, хорошо проникает в древесину, но легко вымывается водой. Применяют в растворах 3-4% концентрации для антисептирования элементов жилых, общественных и производственных зданий, а также изделий из древесины, стружек, опилок, камыша и торфа.

Кремнефторид натрия - белый и светло-серый порошок, по действию сходный с фтористым натрием. Применяют вместе с кальцинированной содой, фтористым натрием.

Кремнефторид аммония - порошок белого цвета без запаха, в растворе древесины не окрашивает, прочность ее не понижает, повышает огнестойкость древесины, но вызывает слабую коррозию металла. По токсичности кремнефтористый аммоний превосходит фтористый натрий. Обычно применяют водные растворы 5-10% концентрации. Легко вымывается водой. Водные растворы этих антисептиков бесцветны, в связи с чем для контроля тщательности нанесения в них добавляют краситель.

Препарат ББК-3 - смесь борной кислоты и буры. Хорошо растворим, практически безвреден для людей.

Препараты ХХЦ (смесь хлористого цинка и натриевого или калиевого хромпика) и *МХХЦ* (смесь хлористого цинка, хромпика и медного купороса) трудно вымываются водой, но окрашивают древесину в желто-зеленый цвет и вызывают коррозию черных металлов. Применяют 3-5%-ные растворы. Относятся к токсичным веществам.

Препарат ГР-48 - антисептик на основе пентахлорфенола, без запаха, хорошо растворяется в воде. Его применяют в растворе 1-1,5%-ной концентрации для поверхностной защиты пиломатериалов, в частности, от синевы и плесени.

Органорастворимые препараты *типа ПЛ* (растворы пентахлорфенола в легких нефтепродуктах) и *типа НМЛ* (растворы нафтената меди в легких нефтепродуктах) являются высокотоксичными антисептиками, хорошо проникающими в древесину. Эти растворы следует применять в случаях необходимости введения в древесину трудновыщелачиваемых антисептиков без последующей сушки элементов конструкций и изделий.

Препараты НМЛ окрашивают древесину в зеленый цвет и затрудняют ее склеивание. В качестве растворителей применяют зеленое масло, мазут, керосин и сольвентнафту. Препараты ПЛ применяют также для усиления токсичности масляных антисептиков.

Масляные антисептики - каменноугольное масло, антраценовое масло, сланцевое масло и др. Перечисленные продукты представляют собой жидкости темно-коричневого цвета с резким запахом и сильными антисептическими свойствами. Они не выщелачиваются водой, металл не корродируют, но окрашивают древесину в темно-бурый цвет. Применяют для глубокой пропитки деревянных элементов, находящихся на открытом воздухе, в земле или воде (шпалы, части мостов, сваи, подводные сооружения и др.).

Антисептические пасты приготовляют из водорастворимого антисептика (фторид или кремнефторид натрия), связующего вещества (битума, глины, жидкого стекла и др.) и наполнителя (торфяного порошка). Пасты применяют для защиты деревянных элементов зданий, увлажнение которых происходит в процессе эксплуатации (концы балок, столбов и др.). Элементы открытых сооружений, обработанные пастой, защищают гидроизоляционным покрытием.

Деревянные строительные конструкции и изделия антисептируют различными способами: *поверхностной обработкой* антисептиками и последовательной пропиткой в горячей и холодных ваннах; *пропиткой под давлением* в автоклавах и *обмазкой* антисептическими пастами. В зависимости от назначения древесины и ее влажности применяют тот или иной способ антисептирования, причем глубина пропитки зависит как от способа антисептирования, так и от строения древесины.

Защита древесины от поражения насекомыми

Основной способ борьбы с насекомыми, разрушающими древесину на складах лесоматериалов, - содержание склада в соответствии с санитарными требованиями, а также своевременная окорка круглых лесоматериалов. Однако насекомые поражают деревянные конструкции и в сооружениях. В этом случае борьба с ними ведется путем обработки древесины конструкций ядовитыми веществами - инсектицидами, в качестве которых используют рассмотренные выше масляные антисептики и препараты - на органических растворителях, а также порошок и пасту ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), раствор хлорофоса (диметилтрихлороксиэтилфосфоната), хлородан в виде дуста и эмульсии и другие вещества, а также некоторые газы (хлорпикрин).

Для защиты деревянных конструкций от возгорания строители должны принимать специальные меры. Конструктивные огнезащитные мероприятия сводятся к отдалению деревянных частей сооружений от источников нагревания и покрытию деревянных конструкций штукатуркой, асбестовым картоном и асбестоцементными листами. Кроме того, на деревянные конструкции наносят огнезащитные составы или пропитывают древесину химическими веществами - **антипиренами**. В качестве антипиренов применяют буру, хлористый аммоний, фосфорнокислые натрий и аммоний, сернокислый аммоний.

Огнезащитные составы в виде красок или паст, приготовляемые из связующего вещества, наполнителя и антипирена, наносят на поверхность деревянных конструкций кистями, а также путем двукратного опрыскивания поверхности конструкций жидкими составами.

Огнезащитное действие антипиренов основано на том, что одни из них при нагревании древесины создают оплавленную пленку, закрывая доступ кислорода к древесине, другие при высокой температуре выделяют газы, которые препятствуют горению древесины.

Можно осуществлять комбинированную защиту древесины от возгорания и гниения путем добавления в огнезащитные составы антисептиков (фторид натрия и др.), не снижающие огнезащитных свойств составов.

§ 6. Материалы и изделия из древесины

Строганые и шпунтовые доски и бруски имеют на одной кромке шпунт, а на другой - гребень для плотного соединения элементов. *Фрезерованные изделия*: плинтусы и галтели применяют для заделки углов между стенами и полом; поручни и наличники для обшивки дверных и оконных коробок.

Паркет бывает *обыкновенный* (планочный) и *щитовой*. Паркетные планки (дощечки) изготовляют из твердых пород - дуба, бука, ясеня и др. Щитовой паркет имеет основание из досок или брусьев, на которые наклеен паркет, набранный из отдельных планок. Паркетные доски состоят из реечного основания (которое позволяет избежать коробления), на которое наклеены паркетные планки. На кромках паркетных досок имеется паз и гребень для плотного соединения при настилке пола. Применение паркетных досок дает большие преимущества по сравнению с штучным паркетом. Их изготовляют заводским механизированным способом; устройство чистого пола из паркетных досок производится значительно быстрее.

Столярные изделия - оконные и дверные блоки с вмонтированными в них оконными переплетами и дверными полотнами, столярные перегородки и панели для жилых и гражданских зданий. *Оконные и дверные блоки* поступают на строительство в полной готовности с навешенными полотнами и створками, окрашенными и застекленными. Столярные перегородки собирают на месте строительных работ и скрепляют при помощи плинтусов и карнизов.

Щитовые двери для жилых и общественных зданий представляют собой деревянную раму, заполненную сплошным или пустотным заполнением и облицованную с обеих сторон шпоном, твердой древесно-волокнистой плитой или фанерой. Сплошное заполнение дверей выполняют из деревянных брусков, древесно-стружечных плит, а пустотное заполнение образуют из полосок фанеры, твердой древесно-волокнистой плиты, бумажных сот и т.п. Полотна дверей окрашивают масляной краской, эмалями или имитируют под древесину ценных пород пленкой или текстурной бумагой.

Фанера представляет собой листовой материал, склеенный из трех и более слоев лущенного шпона. Наружные слои шпона в фанере называют "рубашками", а внутренние "серединками". Лицевая "рубашка" имеет меньше пороков древесины (сучков и др.) и дефектов обработки, чем оборотная "рубашка" и "серединки". При нечетном числе слоев шпона уменьшается коробление фанеры. Обычно фанеру склеивают из листов шпона, расположенных так, чтобы волокна смежных листов шпона были взаимно перпендикулярны (рис.12.16). Однако в диагональной фанере волокна "рубашек" направлены под углом 45° к волокнам "серединок". Выпускают также фанеру с направлением волокон шпона в соседних слоях под углом 30° или 60°.

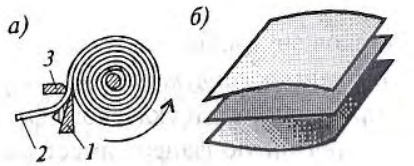


Рис.12.16. Схема изготовления фанеры:
а) лущение шпона: *1* - нож; *2* - шпон; *3* - прижим; *б)* склеивание шпонов

Лущеный шпон. Короткие (до 2 м) бревна пропаривают или выдерживают в бассейнах с горячей водой, чтобы придать древесине пластичность. Затем на лущильных станках с поверхности бревна, вращающегося вокруг своей оси, снимается тонкая непрерывная стружка - шпон; строганый шпон применяют только для производства декоративной фанеры. Клеевую фанеру изготовляют из березы, бука, ольхи, клена, ясеня, дуба, сосны, ели, кедра, лиственницы. *Пакеты шпона*, набранные по заданной схеме из определенным образом промазанных клеем листов, поступают в гидравлический пресс, плиты которого обогреваются паром. Отверждение полимерного клея происходит при температуре 120-160°С и удельном давлении прессования 1,4-2 МПа в течение 20-30 мин.

В зависимости от вида примененного клея и его водостойкости различают фанеру повышенной водостойкости (марка ФСФ на феноформальдегидном клее), средней водостойкости (марки ФК и ФБА соответственно на карбамидном и альбумин-казеиновом клеях) и ограниченной водостойкости (марка ФБ на казеиновом клее).

По виду обработки поверхности фанера может быть *нешлифованной* или *шлифованной* с одной или двух сторон. По числу слоев шпона различают трехслойную, пятислойную и многослойную фанеру толщиной 1,5-18 мм и размером листа до 2400õ1525 мм. Фанеру марки ФСФ применяют для обшивки наружных стен, кровельных работ, изготовления несущих и ограждающих конструкций, а других марок - для устройства внутренних перегородок и обшивки стен и потолков внутри помещений.

Бакелизированную фанеру получают из березового лущеного шпона, пропитанного и склееного фенолоформальдегидными клеями. Бакелизированную фанера имеет высокие конструктивные качества: ее предел прочности при растяжении 60-80 МПа, при этом она почти так же легка, как и древесина. Эта фанера обладает повышенной водостойкостью, атмосферостойкостью и прочностью. Ее применяют для изготовления легких конструктивных элементов. *Декоративную клееную фанеру* изготовляют из березового, ольхового или липового шпона и облицовывают с одной или двух сторон строганым шпоном из ценных пород дерева (дуба, груши и т.п.) с красивой текстурой либо полимерными пленками. Декоративную фанеру (марки ДФ) применяют для внутренней отделки стен, перегородок, дверных полотен, встроенной мебели и т.п.

Фанерные плиты представляют собой многослойные изделия из шпона, склеенного полимерными клеями; их толщина 8-30 мм и 35-78 мм. *Столярные плиты* - это реечные щиты, оклеенные с обеих сторон березовым или другим шпоном. Толщина плит 16-50 мм. Их применяют для дверей, перегородок, встроенной мебели.

Кровельные материалы для временных зданий выпускают следующих видов: стружку, драньё, плитки деревянные и гонт (от польского gont). Материалы для кровель изготовляют из осины, сосны, ели, пихты. *Стружку* производят длиной (вдоль волокон) 40-50 см, шириной 7-12 см и толщиной 0,3 см; драньё длиной 40-100 см, шириной 9-13 см и толщиной 0,3-0,5 см; гонт длиной 50-70 см, шириной 7-12 см и толщиной 1,5 см.

Древесностружечные плиты изготовляют путем горячего прессования специально приготовленных древесных стружек с термореактивными жидкими полимерами (карбамидными или фенолоформальдегидными). Расход полимера составляет 8-12% (по массе). Стружку получают на специальных стружечных станках, используя сырье в виде отходов деревообработки, фанерного и мебельного производства, а также неделовую древесину. Средний слой трехслойных плит состоит из относительно толстых стружек (толщина до 1 мм), наружные слои выполняются из тонких стружек (толщиной до 0,2 мм), которые повышают прочность изделий. В качестве декоративной отделки, защищающей плиты от увлажнения и истирания, применяют полимерные пленочные материалы, бумагу, пропитанную смолами. Нередко поверхность плит (предварительно отшлифованную) покрывают водостойкими фенольными или эпоксидными лаками.

Выпускают древесностружечные плиты различной плотностью (г/см^3): очень высокой 0,81-1,0, высокой 0,66-0,8, средней 0,51-0,65, малой 0,36-0,5, очень малой 0,35. Плиты средней и высокой плотностью применяют как конструкционный и отделочный материал. Плиты малой плотностью служат тепло- и звукоизоляционным материалом. Для придания плитам биостойкости в полимерно-стружечную массу добавляют антисептики (фторид и кремнефторид натрия, буру и др.). В качестве антипиренов используют добавку сульфата аммония и диаммонийфосфат. С целью уменьшения набухания плит во влажном воздухе в исходную массу вводят гидрофобизующие вещества (парафиновую эмульсию, раствор кремнийорганического полимера и др.). Размеры плит: длина 1800-3500 мм, ширина 1220-1750 мм, толщина 4-100 мм.

Древесноволокнистые плиты изготовляют путем горячего прессования волокнистой массы, состоящей из древесных волокон, воды, наполнителей, полимера и специальных добавок (антисептиков, антипиренов, гидрофобизующих веществ). Древесные волокна получают из отходов деревообрабатывающих производств и неделовой древесины. Древесину на рубильных машинах перерабатывают в щепу, которую проваривают в 1-2%-ном растворе едкого натра для нейтрализации смолистых и сахаристых веществ. Затем щепу размельчают в дефибраторах и других машинах до состояния тонких волокон. После дополнительной обработки паром (при температуре 150°С и давлении 0,6-1 МПа) волокна смешивают с водой и указанными добавками. При изготовлении сверхтвердых плит в смесь вводят фенолоформальдегидный полимер. Приготовленная масса передается на отливочную машину, имеющую бесконечную металлическую сетку и вакуумную установку. Здесь масса обезвоживается, уплотняется, разрезается на плиты, которые и направляются в роликовую сушилку, если формуются высокопористые изоляционные плиты. Для получения твердых плит необходимо прессование массы, которое осуществляется на гидравлических многоэтажных прессах при температуре 150-165°С под давлением 1-5 МПа. Горячее прессование ускоряет отверждение термореактивного полимерного связующего; изменяя давление прессования, можно получить плиты разной плотностью и с различными физико-механическими свойствами.

Выпускают плиты пяти видов: сверхтвердые плотностью более 950 кг/м^3 с пределом прочности при изгибе $R > 50$ МПа; твердые > 850 кг/м^3, $R > 40$ МПа; полутвердые > 400 кг/м^3, $R > 15$ МПа; изоляционно-отделочные = 250-350 кг/м^3, $R > 2$ МПа; изоляционные до 250 кг/м^3, $R > 1,2$ МПа.

Плиты имеют длину 1200-3600 мм и ширину 1000-1800 мм. Твердые плиты имеют толщину 3-8 мм, а изоляционные 8-25 мм.

Твердые плиты применяют для устройства перегородок, подшивки потолков, настилки полов, для изготовления дверных полотен и встроенной мебели.

Отделочные плиты облицовывают синтетической пленкой с прокладкой текстурной бумаги под цвет и текстуру древесины ценных пород. Их также выпускают с матовой поверхностью, окрашенными водоэмульсионными поливинилацетатными красками. Такие плиты служат облицовкой стен и потолков. Плиты, окрашенные эмалями, имеют глянцевую поверхность и они более водостойки. Эти плиты

применяют для облицовки стен в медицинских учреждениях, продуктовых магазинах и т.п.

Крупноразмерность, красивый внешний вид и невысокая стоимость предопределяют высокую технико-экономическую эффективность плит.

Изоляционные древесноволокнистые плиты находят широкое применение в виде тепло- и звукоизоляционного материала. Производство древесноволокнистых и древесностружечных плит быстро увеличивается, чему способствуют обширные ресурсы разнообразного органического сырья в виде отходов деревообработки, бумажной макулатуры, неделовой древесины; сырьем могут служить также стебли тростника, солома, льняная костра и т.п.

Столярные плиты - это реечные щиты, оклеенные с обеих сторон березовым или другим шпоном. Толщина плит 16-50 мм. Их применяют для дверей, перегородок и встроенной мебели.

Древесно-слоистые пластики - это листы или плиты, изготовленные из лущенного шпона, пропитанного и склеенного резольным фенолоформальдегидным полимером. Отличаются от фанеры большей плотностью (1,25-1,33 г/см^3) и обладают высокими механическими свойствами: предел прочности при растяжении вдоль волокон "рубашки" 140-260 МПа, при изгибе 150-280 МПа, удельная ударная вязкость 3-8 МПа. Эти пластики стойки к действию масел, растворителей, моющих средств. Применяют в строительных конструкциях, от которых требуется химическая стойкость, немагнитность, высокое сопротивление истиранию.

§ 7. Биокомпозиты

С начала 90-х г. при производстве строительных древесных пластиков - биокомпозитов, применяется **биотехнология**, основанная на интегрированном использовании биохимии, микробиологии и инженерных наук.

Биотехнологические процессы известны с древнейших времен - при получении сыра, пива, улучшения вкуса хлеба. При производстве глиняного кирпича глина длительное время выдерживалась в глиноземниках, где содержащиеся в ней микроорганизмы делали ее более пластичной.

Связующим в биокомпозитах служат выделяемые из древесного или другого растительного сырья природные клеящие вещества.

Основными компонентами, присутствующими в древесине, являются три основных структурных полимера - целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. Конструкционно лигнин в древесине выполняет функции клея (матрица), а целлюлоза - армирующего вещества (упрочнитель).

Сущность получения биокомпозитов заключается в том, что под влиянием давления и температуры измельченное растительное сырье приобретает способность образовывать монолитный материал. Для эффективности технологии используют микробиологический процесс - ферментацию. Это дает освобождение лигнина посредством разрыва лигнин-углеводных связей, происходящих при гидролизе гемицеллюлозы. Для этих целей наиболее подходят дереворазрушающие грибы, вызывающие белую гниль, - **ксилотрофы**. Микроорганизмы обладают уникальной способностью распознавать и воздействовать только на определенные соединения и осуществлять химические реакции.

Технологический процесс производства биокомпозитов состоит в следующем: подготовка растительного сырья, ферментация его лигнин-разрушающими грибами, сушка и дозирование древесных частиц, формирование пакета, его холодная подпрессовка, горячее прессование, кондиционированная обработка готовых плит.

Наиболее высокие показатели прочности и водостойкости имеют биокомпозиты с плотностью более 1000 кг/м^3. Плиты имеют толщину 8-20 мм, пластики получают одно- трехслойными. Они экологически чистые по сравнению с древесными пластиками на синтетической связке.

Биотехнология применяется также при производстве природных клеев, поверхностно-активных веществ (БиоПАВ) для бетона, синтезируемых микроорганизмами, и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Положительные и отрицательные свойства древесины как строительного материала.
2. Назовите основные элементы макро- и микроструктуры древесины.
3. Формы связи воды в древесине, равновесная влажность, влияние влажности на свойства древесины.
4. Объясните особенности механических свойств древесины с позиций теории композиционных материалов.

5. Основные пороки древесины и их влияние на прочность древесины.
6. Методы защиты древесины от гниения и горения.
7. Что же такое биокомпозиты?

Дополнительная литература

1. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение. - М.: Экология, 1991.
2. *Буглай Б.М., Гончаров Н.А.* Технология изделий из древесины. - М.: Стройиздат, 1985.
3. Деревянные конструкции и детали /Под ред. В.М.Хрулева. - М.: Стройиздат, 1983.
4. *Соломатов В.И.* и др. Строительные биотехнологии и биокомпозиты. М.: МИИТ, 1998.

Глава XIII. БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА И БЕТОНЫ (РАСТВОРЫ) НА ИХ ОСНОВЕ

§ 1. Общие сведения

Битумы применялись в качестве строительного материала еще в глубокой древности в качестве вяжущего и водоизолирующего материала.

К **битумным материалам** относятся следующие.

Природные битумы - вязкие жидкости или твердообразные вещества, состоящие из смеси углеводородов и их неметаллических производных: серы, азота, кислорода и др. Природные битумы получились в результате естественного процесса окислительной полимеризации нефти. Природные битумы встречаются в местах нефтяных месторождений, образуя линзы, а иногда и асфальтовые озера. Однако природные битумы в чистом виде встречаются редко, чаще они пронизывают осадочные горные породы.

Асфальтовые породы - пористые горные породы (известняки, доломиты, песчаники, глины, пески), пропитанные битумом. Из этих

пород извлекают битум или их размалывают и применяют в виде асфальтового порошка.

Нефтяные (искусственные) битумы, получаемые переработкой нефтяного сырья, в зависимости от технологии производства могут быть: остаточные, получаемые из гудрона путем дальнейшего глубокого отбора из него масел; окисленные, получаемые окислением гудрона в специальных аппаратах (продувка воздухом); крекинговые, получаемые переработкой остатков, образующихся при крекинге нефти.

Гудрон - остаток после отгонки из мазута масляных фракций; он является основным сырьем для получения нефтяных битумов, используется в виде связующего вещества в дорожном строительстве.

К **дегтевым материалам** относят различные виды дегтя и пеки, получаемые в результате сухой перегонки каменного угля, древесины и др.

Все эти материалы относятся к **органическим вяжущим веществам**. Наиболее широкое применение они получили в промышленно-гражданском, гидротехническом, дорожном строительстве в виде кровельных, гидроизоляционных и уплотняющих материалов (гл. XIV) - асфальтобетона, асфальтораствора. Органические вяжущие хорошо совмещаются с резиной и полимерами, что позволяет значительно улучшить качество битумных материалов в соответствии с требованиями современного строительства.

§ 2. Битумные вяжущие вещества

Состав и строение битумов

Битумы относятся к наиболее распространенным органическим вяжущим веществам.

Элементарный состав битумов колеблется в пределах: углерода 70-80%, водорода 10-15%, серы 2-9%, кислорода 1-5%, азота 0-2%. Эти элементы находятся в битуме в виде углеводородов и их соединений с серой, кислородом и азотом. Химический состав битумов весьма сложен. Так, в них могут находиться смеси углеводородов метанового и нафтенового рядов и их кислородных, сернистых и азотистых производных. Все многообразие соединений, образующие битум, можно свести в три группы: твердая часть, смолы и масла.

Твердая часть битума - это высокомолекулярные углеводороды и их производные с молекулярной массой 1000-5000, плотностью более 1, объединенные общим названием "асфальтены". В асфальтенах содержатся карбены, растворимые только в CCl_4 и карбоиды, не растворимые в маслах и летучих растворителях. В состав битумов могут входить также твердые углеводороды-парафины.

Смолы представляют собой аморфные вещества темно-коричневого цвета с молекулярной массой 500-1000, плотностью около 1.

Масляные фракции битумов состоят из различных углеводородов с молекулярной массой 100-500, плотностью менее 1.

По своему строению битум представляет коллоидную систему, в которой диспергированы асфальтены, а дисперсионной средой являются смолы и масла. Асфальтены битума, диспергированные в виде частиц размером 18-20 мкм, являются ядрами, каждое из них окружено оболочкой убывающей плотности - от тяжелых смол к маслам.

Свойства битума, как дисперсной системы, определяются соотношением входящих в него составных частей: масел, смол и асфальтенов. Повышение содержания асфальтенов и смол влечет за собой возрастание твердости, температуры размягчения и хрупкости битума. Наоборот, масла, частично растворяющие смолы, делают битум мягким и легкоплавким. Снижение молекулярной массы масел и смол также повышает пластичность битума.

Группы углеводородов, входя в состав битумов в различных соотношениях и образуя сложную дисперсную систему, предопределяют их структуру и свойства (рис. 13.1). Если в дисперсной системе имеется избыток дисперсной среды, то комплексные частицы - **мицеллы** не контактируют между собой свободно перемещаясь. Эта структура характерна для жидких битумов при нормальной температуре и для вязких битумов при повышенных температурах (рис. 13.1, а). При большом количестве мицелл они контактируют между собой, образуя мицеллярную пространственную сетку. Такая структура характеризуется высокой вязкостью и твердостью при высокой температуре (рис.13.1, б).

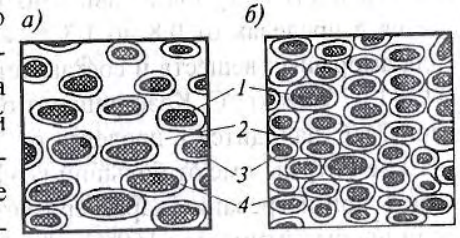


Рис.13.1. Схема структуры битума: *а)* жидкого; *б)* твердого; *1* - мицелла; *2* - раствор смол в маслах; *3* - асфальтены (ядро мицеллы размером 18...28 мкм); *4* - смолы (оболочка мицеллы)

Парафин, содержащийся в нефтяных битумах, ухудшает их свойства, повышает хрупкость при пониженных температурах. Поэтому стремятся к тому, чтобы содержание парафина в битуме не превышало 5%.

Состав определил практические способы перевода твердых битумов в рабочее состояние: нагревание до 140-170^{0}С, размягчающие смолы и увеличивающие их растворимость в маслах; растворение битума в органическом растворителе (зеленое нефтяное масло, лакойль и др.) для придания рабочей консистенции без нагрева (холодные мастики и т.п.); эмульгирование и получение битумных эмульсий и паст.

Свойства битумов

Физические свойства органических и неорганических вяжущих веществ и материалов, изготавливаемых на их основе, различны. Для органических веществ в отличие от минеральных характерны гидрофобность, атмосферостойкость, растворимость в органических растворителях, повышенная деформативность, способность размягчаться при нагревании вплоть до полного расплавления. Эти свойства обусловили применение органических вяжущих для производства кровельных, гидроизоляционных и антикоррозионных материалов, а также их широкое распространение в гидротехническом и дорожном строительстве.

Плотность битумов в зависимости от группового состава колеблется в пределах от 0,8 до 1,3 г/см^3. Теплопроводность характерна для аморфных веществ и составляет 0,5-0,6 Вт/(м·°С); теплоемкость -1,8-1,97 кДж/кг·°С. Коэффициент объемного теплового расширения при 25°С находится в пределах от $5\cdot10^{-4}$ до $8\cdot10^{-40}$С$^{-1}$, причем более вязкие битумы имеют больший коэффициент расширения. Устойчивость при нагревании характеризуется: потерей массы при нагревании пробы битума при 160°С в течение 5 ч (не более 1%) и температурой вспышки (230-240°С в зависимости от марки).

Водостойкость характеризуется содержанием водорастворимых соединений (в битуме не более 0,2-0,3% по массе). Электроизоляционные свойства используют при устройстве изоляции электрокабелей.

Физико-химические свойства. Поверхностное натяжение битумов при температуре 20-25°С составляет 25-35 эрг/см^2. От содержания поверхностно-активных полярных компонентов в органическом вяжущем зависит смачивающая способность вяжущего и его сцепление с каменными материалами (порошкообразными наполнителями, мелким и крупным заполнителем). Прочные хемосорбционные связи битум образует с наполнителем из известняка, доломита с большим количеством адсорбционных центров в виде катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}.

Старение - процесс медленного изменения состава и свойств битума, сопровождающийся повышением хрупкости и снижением гидрофобности. Ускоряется под действием солнечного света и кислорода воздуха вследствие возрастания количества твердых хрупких составляющих за счет уменьшения содержания смолистых веществ и масел.

Реологические свойства битума зависят от группового состава, строения. Жидкие битумы, имеющие структуру типа золь, ведут себя как жидкости, течение которых подчиняется закону Ньютона. Твердые битумы, имеющие структуру типа гель, относятся к вязкоупругим материалам, так как при приложении к ним нагрузки одновременно возникает упругая (обратимая) и пластическая (необратимая) составляющие деформации. Для описания процесса деформирования вязко-упругих тел используют реологическую модель Максвелла и др. (см. гл. I).

Химические свойства. Наиболее важным свойством является химическая стойкость битумов и битумных материалов к действию агрессивных веществ, вызывающих коррозию цементных бетонов, металлов и других строительных материалов. Битумные материалы хорошо сопротивляются действию щелочей (с концентрацией до 45%), фосфорной кислоты (до 85%), а также серной (с концентрацией до 50%), соляной (до 25%) и уксусной (до 10%) кислот. Менее стойки битумы в атмосфере, содержащей оксиды азота, а также при действии концентрированных растворов кислот (особенно окисляющих). Битум растворяется в органических растворителях. Благодаря своей химической стойкости и экономичности битумные материалы широко применяют для химической защиты железобетонных конструкций, стальных труб и др.

Физико-механические свойства. Марку битума определяют твердостью, температурой размягчения и растяжимостью.

Твердость находят по глубине проникания в битум иглы (в десятых долях миллиметра) прибора - пенетрометра.

Температуру размягчения определяют на приборе "кольцо и шар", помещаемом в сосуд с водой; она соответствует той температуре нагреваемой воды, при которой металлический шарик под действием

собственной массы проходит через кольцо, заполненное испытуемым битумом.

Растяжимость характеризуется абсолютным удлинением (см) образца битума ("восьмерки") при температуре 25°С, определяемым на приборе - дуктилометре.

Марку битума выбирают в зависимости от назначения. По назначению различают битумы строительные, кровельные и дорожные. Основные требования, предъявляемые к строительным и кровельным битумам, приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Температура размягчения (°С), не ниже	Глубина проникания иглы при 25°С, 10 мм	Растяжимость (см) при 25°С, не менее
Строительные битумы			
БН 50/50	50	41-60	40
БН 70/30	70	21-40	3
БН 90/10	90	5-20	1
Кровельные битумы			
БНК 45/180	40-45	140-220	не нормируется
БНК 90/40	85-95	35-45	"
БНК 90/30	85-95	25-35	"

Строительные битумы применяют для изготовления асфальтовых бетонов и растворов, приклеивающих и изоляционных мастик, покрытия и восстановления рулонных кровель.

Кровельные битумы используют для изготовления кровельных рулонных и гидроизоляционных материалов. Легкоплавким битумом марки БНК 45/180 пропитывают основу (кровельный картон); а тугоплавкие битумы служат для покровного слоя. Битумом пропитывали железобетонные конструкции, работающие в грунте, в частности, сваи для антикоррозионной защиты.

§ 3. Дегтевые вяжущие вещества

Деготь представляет собой густую вязкую массу черно-коричневого цвета, образующуюся при нагревании без доступа воздуха твердых видов топлива (каменного и бурого углей, горючего сланца, торфа, древесины). В строительстве применяют главным образом каменноугольные дегти, получаемые в коксохимическом производстве. При переработке 1 т угля получают 700-750 кг кокса, 300-350 м^3 коксового газа, 12-15 л бензола, до 3 кг аммиака и 30-40 кг сырой каменноугольной смолы (сырого дегтя).

Дегтевые вяжущие вещества подразделяются на следующие виды:

сырой каменноугольный деготь: а) низкотемпературный первичный, получаемый при полукоксовании, заканчивающемся при 500-600°С; представляет собой вязкую темно-бурую жидкость плотностью 0,85-1 г/см^3, состоящую из насыщенных и ненасыщенных углеводородов и фенола: часто служит для получения отогнанного угля; б) высокотемпературный деготь, получаемый при коксовании (которое заканчивается при 1000-1300°С) в виде черной вязкой жидкости, либо вязкотвердого продукта плотностью 1,12-1,23 г/см^3 и температурой размягчения до 40-70°С;

отогнанный деготь (каменноугольная смола), получаемый в результате фракционирования сырой низкотемпературной смолы с выделением из нее лигроиновой и керосиновой фракций (до 30% от массы смолы); по своей вязкости и свойствам близок к высокотемпературному дегтю;

пек, являющийся твердым остаточным продуктом перегонки сырой каменноугольной смолы с выделением из нее: легких масел (кипящих до 180°С), фенольной фракции (180-210°С) нафталиновой фракции (210-230°С), антраценового масла (до 360°С); пек - аморфная хрупкая масса черного цвета с характерным раковистым изломом плотностью 1,25-1,28 г/см^3; состоит из высокомолекулярных углеводородов и их производных, а также свободного углерода от 8 до 30%;

составленные дегти, получаемые сплавлением песков с дегтевыми маслами (антраценовым или др.) или обезвоженными сырыми дегтями; широко применяются в строительстве, так как, изменяя соотношение между пеком и растворителем (антраценовым маслом), можно получать составленные дегти требуемой вязкости и температуры размягчения.

В состав дегтевых вяжущих веществ входят в основном углеводороды ароматического ряда - производные бензола и их соединения с кислородом, азотом и серой.

Состав каменноугольного дегтя характеризуется содержанием следующих групп веществ: *твердые* (углистые и неплавкие вещества), нерастворимые в органических растворителях, называемые свободным углеродом; *дегтевые смолы твердые неплавкие* (подобные асфальтенам в битуме) и *вязко-пластичные плавкие смолы*, растворимые в бензоле и хлороформе; *жидкие дегтевые масла*, состоящие в основном из жидких углеводородов.

Следовательно, дегтевые вяжущие представляют собой сложные дисперсные системы, свойства которых будут определяться соотношением между твердой составляющей, смолами и маслами.

Свойства дегтей

Средняя плотность каменноугольных дегтей - 1,25 г/см^3.

Вязкость дегтей повышается с увеличением количества свободного углерода и твердых смол за счет уменьшения масляной части дегтя.

Температура размягчения дегтей высоких марок обычно ниже, чем тугоплавких битумов.

Атмосферостойкость дегтевых материалов (толя, толь-кожи и др.) ниже по сравнению с битумными материалами (рубероидом, пергаментом и др.). Это объясняется тем, что дегти стареют быстрее, чем нефтяные битумы. В дегтях содержится большое количество непредельных углеводородов, которые подвергаются окислительной полимеризации при контакте с кислородом и водой, воздействии ультрафиолетовых лучей солнечного света. Испарение масел и частичное вымывание водой фенолов ускоряет старение, - дегтевые материалы становятся хрупкими и теряют водоотталкивающие свойства.

Биостойкость материалов на основе дегтевых вяжущих выше по сравнению с битумными материалами. Стойкость против гниения объясняется высокой токсичностью содержащегося в дегтях фенола (карболовой кислоты).

§ 4. Асфальтовые бетоны и растворы

Для приготовления асфальтовых растворов и бетонов применяют **асфальтовое вяжущее**, представляющее смесь нефтяного битума с тонкомолотыми минеральными порошками (известняка, доломита, мела, асбеста, шлака). Минеральный наполнитель не только уменьшает расход битума, но и повышает температуру размягчения бетона.

Прочность асфальтового вяжущего обусловлена соотношением компонентов Б/Н и пористостью после уплотнения и отвердевания. При оптимальном соотношении Б/Н весь битум адсорбирован в виде тонких непрерывных пленок на поверхности частиц тонкомолотого наполнителя, поэтому асфальтовое вяжущее имеет наибольшую прочность.

Мелким заполнителем в растворе и бетоне служат чистые природные и искусственные пески с содержанием пылевато-глинистых частиц не более 3% по массе.

Щебень изготовляют из прочных и морозостойких изверженных, осадочных и метаморфических горных пород, а также из металлургических шлаков. Из осадочных предпочитают карбонатные породы (известняки, доломиты), хорошо сцепляющиеся с битумом. Щебень должен выдерживать без разрушения не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Асфальтовые бетоны подразделяют по назначению на гидротехнические, дорожные и аэродромные, для устройства полов в промышленных цехах и складских помещениях, плоской кровли, стяжек. Гидротехнические асфальтовые бетоны используют для устройства экранов и в уплотняющих конструкциях швов сооружений, в качестве гидроизоляционных слоев при строительстве каналов, шлюзов, ирригационных сооружений. Специальные виды плотного бетона, изготовленные на химически стойких заполнителях применяют для создания кислотно- и щелочностойких покрытий. Имеются декоративные асфальтовые бетоны (цветные и офактуренные), из которых выполняются разделительные полосы на дорогах, переходы, полы вестибюлей гражданских зданий.

Основные свойства асфальтового бетона зависят от примененного асфальтового вяжущего, состава и пористости.

Пористость асфальтового бетона обычно колеблется от 5 до 7%. Плотные бетоны (с пористостью не более 5%) практически водонепроницаемы. Пористость ухудшает долговечность асфальтового бетона в связи с возрастанием водопоглощения, снижением морозо-

стойкости и увеличением химической коррозии. Наиболее агрессивными слоями по отношению к битуму, которые могут содержаться в воде, являются сульфаты натрия и магния.

Биохимическая стойкость характеризует сопротивление "органическому выветриванию" под влиянием бактерий, вызывающих разложение сложных органических веществ, составляющих битум. Для повышения биостойкости в состав битумного вяжущего вводят антисептики.

Состав асфальтового раствора должен быть такой, чтобы пустоты в песке были полностью заполнены асфальтовым вяжущим с избытком (10-15%) для обволакивания песчинок.

Асфальтовый бетон можно представить как смесь асфальтового раствора и крупного заполнителя - щебня. Количество асфальтового раствора берут с расчетом заполнения пустот в щебне и небольшого избытка (10-15%) для плотного бетона. Примерные составы асфальтовых растворов и бетонов приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Примерные составы асфальтовых растворов и бетонов

Наименование	Состав, % по массе						
	Битум	Пек	Каменно-угольная смола	Наполнитель	Песок	Щебень	Асбест
Асфальтовый раствор	18			20	55	-	7
Пекосмоляной раствор	-	15	4	11	62	-	8
Асфальтобетон	7	-	-	3	30	60	-
Пекобетон	-	8-12	2-3	5-10	40-35	45-40	-

В отличие от цементного бетона на показатели прочности асфальтового бетона сильно влияет температура. Например, если предел прочности при сжатии асфальтобетона при 20^0С - 2,2-2,4 МПа, то при 50°С - только 0,8-1,2 МПа. Зато асфальтовые бетоны и растворы лучше, чем цементные, противостоят коррозии.

Асфальтовые бетоны укладывают в горячем или холодном состоянии. Наиболее распространены горячие асфальтобетонные смеси, имеющие при укладке температуру 140-170°С. Для их приготовления предварительно высушенные и подогретые до 180-200°С минеральные составляющие бетона (тонкомолотый наполнитель, песок и щебень) загружают в смеситель, в котором их перемешивают с расплавленным битумом (температурой 150-170°С). Готовые горячие смеси привозят на специальных машинах и после укладки уплотняют катками. После остывания, через 1-2 ч, асфальтобетон отвердевает, приобретая плотность и прочность.

Асфальтовые бетоны, укладываемые в холодном состоянии, приготовляют на жидких битумах и битумной эмульсии. Жидкий битум подогревают до 110-120°С и смешивают с высушенными и подогретыми до той же температуры заполнителями. Асфальтобетонную смесь охлаждают до 60°С, развозят на места и укладывают при температуре окружающей среды не ниже 5°С. Бетон готовят и на битумной эмульсии, смешивая вяжущие и заполнители без подогрева. В дегтебетон в качестве вяжущего вещества входит деготь (или пек). Водостойкость, износ и долговечность дегтебетона ниже, чем асфальтового бетона.

Вопросы для самоконтроля

1. Как получают битумы и дегти?
2. По каким показателям определяют марку битума?
3. Назовите составы асфальтобетона и асфальтораствора.
4. В результате чего идет процесс твердения асфальтобетонов?
5. Где применяются органические вяжущие?

Дополнительная литература

1. *Гун Р.Б.* Нефтяные битумы. - М., 1973.
2. *Грудников И.П.* Производство нефтяных битумов. - М., 1983.
3. *Рыбьев И.А.* Асфальтовые бетоны.- М., 1969.
4. *Гезенцвей Л.Б.* Производство нефтяных битумов. – М., 1985.

Глава XIV. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Пластическими массами называют материалы, содержащие в качестве важнейшей составной части высокомолекулярные соединения - **полимеры** и обладающие пластичностью на определенном этапе производства, которая полностью или частично теряется после отверждения полимера.

Молекулы высокомолекулярных соединений состоят из нескольких тысяч или даже сотен тысяч атомов. Чаще всего макромолекулы таких соединений построены путем многократного повторения определенных структурных единиц. Степенью полимеризации называют число структурных единиц, содержащихся в одной макромолекуле.

Молекулярная масса низкомолекулярных соединений обычно не превышает 500. Вещества, имеющие промежуточные значения молекулярной массы, называют **олигомерами**.

Высокомолекулярные соединения встречаются в природе. К ним принадлежит натуральный каучук, целлюлоза, шелк, шерсть, янтарь и др.

Во второй половине XIX века был открыт процесс вулканизации природного каучука путем нагревания с серой - получение резины. В 1872 г. путем обработки нитроцеллюлозы камфарой был получен целлулоид, который явился первым видом пластической массы на основе производных целлюлозы. В 1887 г. был получен галалит - первая пластмасса на основе белка (казеина).

С начала XX века искусственным путем стали получать новые высокомолекулярные вещества, полученные реакциями синтеза из сравнительно простых по химическому составу веществ - **мономеров.**

В двадцатых и тридцатых годах получили промышленное применение мочевино-формальдегидные полиэфирные и другие полимеры. Начиная с тридцатых годов широко начали применяться методы полимеризации и были получены полистирол, поливинилацетат, поливинилхлорид, полиметилметакрилат, синтетический каучук и др. Позднее появились также новые виды поликонденсационных пластиков: полиамидные, полиуретановые и др.

§ 2. Состав и свойства пластмасс

Пластмассы получают обычно из связующего вещества и наполнителя, вводя в состав исходной массы те или иные специальные добавки-пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и красители.

Связующим веществом в пластмассах служат различные полимеры - синтетические смолы и каучуки, производные целлюлозы. Выбор связующего вещества в значительной мере определяет технические свойства изделий из пластмасс: их теплостойкость, способность сопротивляться воздействию растворов кислот, щелочей и других агрессивных веществ, а также характеристики прочности и деформативности. Связующее вещество - это обычно самый дорогой компонент пластмассы. Полимерные связующие служат основой композиционных материалов.

Для производства полимеров имеются огромные запасы сырья. Исходными материалами для их получения являются природный газ и так называемый "попутный" газ, сопровождающий выходы нефти. В газообразных продуктах переработки нефти содержится этилен, пропилен и другие газы, перерабатываемые на предприятиях в полимеры.

Сырьем для полимеров служит также каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля и содержащий фенол и другие компоненты.

В производстве синтетических материалов применяют также азот и кислород, получаемые из воздуха, воду и ряд других широко распространенных веществ.

Наполнители представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна. В виде наполнителей слоистых пластмасс широко применяют также бумагу, ткани, древесный шпон и другие листовые материалы. Наполнители значительно уменьшают потребность в дорогом полимере и тем самым намного удешевляют изделия из пластмасс. Кроме того, наполнители улучшают ряд свойств изделий - повышают теплостойкость, а волокна ткани и листовой материалы сильно повышают сопротивление растяжению и изгибу, действуя подобно арматуре в железобетоне.

Пластификаторы - это вещества, добавляемые к полимеру для повышения его высокоэластичности и уменьшения хрупкости. В виде пластификаторов могут использоваться некоторые низкомолекулярные высококипящие жидкости. Молекулы жидкости, про-

никая между звеньями цепей полимера, увеличивают расстояние и ослабляют связи между ними. Это и приводит к уменьшению вязкости полимера.

При изготовлении пластмасс в их состав вводят и другие добавки. Вещества, являющиеся инициаторами реакции полимеризации, ускоряют процесс отверждения пластмасс и их поэтому называют отвердителями. *Стабилизаторы* способствуют сохранению структуры и свойства пластмасс во времени, предотвращая их раннее старение при воздействии солнечного света, кислорода воздуха, нагрева и других неблагоприятных влияний.

В качестве красителей пластмасс применяют как органические (нигрозин, хризоидин и др.), так и минеральные пигменты - охру, мумие, сурик, ультрамарин, белила и др.

Для производства пористых пластических масс в полимеры вводят специальные вещества - *порообразователи (порофоры),* обеспечивающие создание в материале пор.

Положительным свойством пластмасс является то, что возможно получить некоторые материалы с высокими показателями, например:

- малая плотность в пределах от 20 до 2200 кг/м^3;

- высокие прочностные характеристики - у текстолита предел прочности при разрыве достигает 150 МПа, у древопластиков равен 350 МПа. Пределы прочности при сжатии этих материалов также достаточно высоки, например, у древопластиков порядка 200 МПа, у СВАМа (стекловолокнистый анизотропный материал) - 420 МПа. Пластмассы с наполнителями (как порошкообразными, так и волокнистыми) имеют предел прочности при сжатии в пределах от 120 до 160 МПа;

- низкая теплопроводность. Самые легкие пористые пластмассы имеют показатель теплопроводности всего лишь 0,03 Вт/(м·°С), т.е. близкий к теплопроводности воздуха;

- высокая химическая стойкость;

- высокая устойчивость к коррозионным воздействиям;

- способность окрашиваться в различные цвета;

- малая истираемость некоторых пластмасс. В связи с этим в первую очередь эти пластмассы целесообразно внедрять как материалы для покрытия полов;

- прозрачность пластмасс. Обычные стекла пропускают менее 1% ультрафиолетовых лучей, тогда как органические наоборот - более 70%; они легко окрашиваются в различные цвета. Следует отметить их значительно меньшую плотность. Так, стекло из полистирола имеет плотность 1060 кг/м^3, тогда как обычное оконное стекло - 2500 кг/м^3;

- технологическая легкость обработки (пиление, сверление, фрезерование, строгание, обточка и др.), позволяющая придавать изделиям из пластмасс разнообразные формы. Пластмассовые изделия поддаются склеиванию как между собой, так и с другими материалами (например, с металлом, деревом и др.). Поэтому из пластмасс можно изготовлять различные комбинированные клееные строительные изделия и конструкции;

- относительная легкость сварки материалов из пластмасс (например, труб в струе горячего воздуха) позволяет механизировать работы по монтажу пластмассовых трубопроводов;

- способность некоторых пластмасс образовывать тонкие пленки в сочетании с их высокой адгезией к ряду материалов, вследствие чего такие пластмассы незаменимы как сырье для производства строительных лаков и красок;

- наличие в стране обширной сырьевой базы для производства полимеров (природные газы, газы нефтепереработки).

Вместе с тем пластмассы имеют ряд недостатков:

- низкая теплостойкость (от +70 до +200°С);

- малая поверхностная твердость;

- высокий коэффициент термического расширения. Он колеблется в пределах 25-120·10^{-6}, т.е. в 2,5-19 раз более высокий, чем у стали. Это необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций, особенно крупноразмерных (например, трубопроводов);

- повышенная ползучесть, особенно заметная при повышении температурного режима;

- горючесть с выделением вредных газов;

- токсичность при эксплуатации.

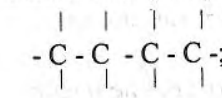
К недостаточно изученным свойствам пластмасс следует отнести сроки их службы. Вопросы долговечности материалов, изменяемости их свойств во времени в значительной мере определяют возможность их применения в строительстве. Пока, за время нескольких десятилетий их применения, нет отрицательных результатов. Вместе с тем создаются саморазрушающие пластмассы, чтобы не скапливать бытовых отходов.

§ 3. Связующие вещества

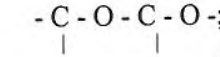
Полимеры. Классификация и строение полимеров. В основу классификации положены состав, методы получения и внутреннее строение полимеров.

По составу основной цепи макромолекул полимеры делят на три группы:

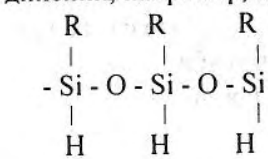
карбоцепные полимеры, молекулярные цепи которых содержат лишь атомы углерода (полиэтилен, полиизобутилен и т.п.):



гетероцепные полимеры, в состав молекулярных цепей которых входят кроме атомов углерода атомы кислорода, серы, азота, фосфора (эпоксидные, полиуретановые, полиэфирные полимеры и т.п.):



элементоорганические полимеры, в основных молекулярных цепях которых содержатся атомы кремния, алюминия, титана и некоторых других элементов, не входящих в состав органических соединений, например, кремнийорганические соединения:



Синтетические полимеры делят в зависимости от метода получения на полимеризационные и поликонденсационные.

Полимеризационные полимеры (полиэтилен, полиизобутилен, полистирол, полиметилметакрилат и т.п.) получают преимущественно методами полимеризации. Полимеризации могут подвергаться только такие мономеры, в молекулах которых содержатся кратные связи (или циклические группировки). За счет этих связей (или за счет раскрытия цикла) у молекул исходного вещества образуются свободные валентности, которыми они соединяются между собой в макромолекулы. Поскольку в процессе полимеризации не отщепляются атомы и атомные группы, химический состав полимера и мономера одинаков.

Поликонденсационные полимеры (фенолоальдегидные, мочевиноальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, полиамидные и т.п.) получают методами поликонденсации. При поликонденсации макромолекулы образуются в результате химического взаимодействия между функциональными группами, находящимися в молекулах исходных веществ; это взаимодействие сопровождается отщеплением молекул побочных продуктов: воды, хлористого водорода, аммиака и др. В связи с этим химический состав получаемого полимера отличается от состава исходных низкомолекулярных веществ.

По внутреннему строению различают линейные и пространственные (с поперечными связями и сетчатые) полимеры.

Линейные полимеры состоят из длинных нитевидных макромолекул, связанных между собой слабыми силами межмолекулярного взаимодействия. Однако наличие в структурных единицах составляющих полимер полярных группировок атомов усиливает взаимодействие между цепями.

В *пространственных* (трехмерных) полимерах прочные химические связи между цепями приводят к образованию единого пространственного каркаса. Пространственные структуры гораздо хуже деформируются, чем структуры из линейных молекул. При образовании сплошной пространственной структуры полимер приобретает свойства твердого упругого тела (типа эбонита).

Различие во внутреннем строении линейных полимеров и полимеров с жестким пространственным каркасом отчетливо проявляется при нагревании.

Линейные полимеры при нагреве размягчаются и переходят в вязкоупругое (каучукоподобное) состояние, поскольку межмолекулярные силы и водородные связи между их цепями преодолеваются при сравнительно умеренном повышении температуры. Они являются термопластичными.

Термопластичными (термопластами) называют полимеры, способные обратимо размягчаться при нагреве и отверждаться при охлаждении, сохраняя основные свойства.

В пространственных полимерах с жестким каркасом ковалентные связи между цепями имеют прочность того же порядка, что и прочность связей внутри цепи. Для разрыва таких связей тепловым движением требуется высокая температура, которая может вызвать разрыв связей не только между цепями, но и внутри цепей. Разрыв наименее прочных связей, существующих внутри цепей, является нача-

лом **деструкции** (химического разложения) полимера. Такой процесс необратим. Эти полимеры являются термореактивными.

Термореактивными (или реактопластами) называют полимеры, которые, будучи отверждены, не переходят при нагреве в пластичное состояние. Следовательно, термореактивные полимеры при повышении температуры ведут себя подобно древесине: при высокотемпературном нагреве они претерпевают деструкцию и загораются.

Влияние температуры на физическое состояние линейных полимеров. Физическое состояние линейного полимера зависит от температуры. При относительно низких температурах (не превышающих температуру стеклования $t_{ст}$) полимер находится в «стеклообразном» упруго-твердом состоянии (рис. 14.1). При повышении температуры он сначала переходит в высокоэластичное (каучукоподобное) состояние, а при достижении температуры текучести ($t_{тек}$) переходит в вязкотекучее состояние.

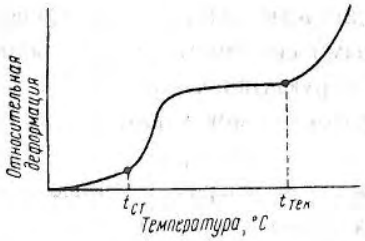


Рис.14.1. Температурная зависимость деформации полимера при постоянной нагрузке

Находясь в высокоэластичном состоянии полимер способен сильно деформироваться при действии сравнительно слабых внешних сил. Полимеры с низкой температурой стеклования (полиэтилен, каучуки и некоторые каучукоподобные материалы) сохраняют свою эластичность даже при сильных морозах.

Текучесть линейных полимеров появляется при достижении температуры 200-300°С, когда тепловое движение достаточно для преодоления относительно слабых связей между цепями, приобретающих способность к диффузионному перемещению.

Полимеризационные полимеры. *Полиэтилен* $(-CH_2-CH_2-)n$ получают путем полимеризации этилена. Полиэтилен представляет собой твердый белый роговидный продукт. Его выпускают в виде гранул размером 3-5 мм или в виде белого порошка.

Технические свойства полиэтилена зависят от молекулярной массы, разветвленности цепи и степени кристалличности. Полиэтилен один из самых легких полимеров - его плотность меньше плотности воды (0,92-0,97 г/см^3). В сочетании с высоким пределом прочности при растяжении (12-32 МПа) это дает высокий коэффициент конструктивного качества. Высокие прочностные свойства полиэтилена благоприятно сочетаются с незначительным водопоглощением (0,03-0,04%), высокой химической стойкостью и морозостойкостью. Следует учитывать особенности полиэтилена, свойственные всем линейным полимерам: сравнительно низкий модуль упругости (150-800 МПа), малую твердость, ограниченную теплостойкость (108-130°С), большой коэффициент теплового расширения.

Полиэтилен применяют для изготовления гидроизоляционных материалов, труб, предметов санитарно-технического оборудования.

Поливинилхлорид (ПВХ) является продуктом полимеризации винилхлорида. Мономер ($CH_2 = CHCl$) в нормальных условиях представляет собой бесцветный газ, обладающий эфирным запахом. Винилхлорид (хлорвинил) получают из ацетилена или из дихлорэтана.

Высокие механические свойства поливинилхлорида определили главные области его применения в строительстве. Этот полимер используют в основном для производства разнообразных материалов для чистых полов: однослойного безосновного линолеума, линолеумов на тканевой и тепловой основах, многослойных линолеумов, плиток для полов. Из поливинилхлорида изготовляют гидроизоляционные и отделочные декоративные материалы. Ценным свойством поливинилхлорида является стойкость к действию кислот, щелочей, спирта, бензина, смазочных масел. Поэтому его широко применяют для производства труб, используемых в системах водоснабжения, канализации и технологических трубопроводов. Из него изготовляют плинтуса, поручни, ячеистые теплоизоляционные материалы.

Недостатками поливинилхлорида является резкое понижение прочности при повышении температуры, а также ползучесть при длительном действии нагрузки.

Перхлорвинил получают хлорированием поливинилхлорида в хлорбензоле до содержания 60 -80% хлора. Перхлорвиниловые составы хорошо зарекомендовали себя в качестве фасадных красок. Устойчивость перхлорвинила к агрессивным средам (кислотам, щелочам и др.) благоприятствует их долговечности. Температура размягчения перхлорвинила 85-100°С.

Полистирол является одним из наиболее применяемых полимеров. Его получают путем полимеризации мономера - стирола $C_6H_5CH = CH_2$. Стирол (винилбензол) получают из этилена и бензола. В противоположность мономеру полистирол лишен запаха и вкуса, физиологически безвреден. При обычной температуре полистирол

представляет собой твердый прозрачный материал, похожий на стекло, пропускающий до 90% видимой части спектра. Выпускают полистирол в виде гранул (6-10 мм), мелкого и крупнозернистого порошка, а также в виде бисера (при суспензионном методе производства) с влажностью до 0,2%.

Обладая высокими механическими свойствами (R_p = 35-60 Па, $R_{сж}$ = 80-110 МПа), полистирол водостоек, хорошо сопротивляется действию концентрированных кислот (кроме азотной и ледяной уксусной кислот), противостоит растворам щелочей (с концентрацией до 40%). В силу этих свойств полистирольные облицовочные плитки долговечны, их применяют (взамен керамических плиток) для облицовки стен ванных комнат, санузлов, кухонь, лабораторных помещений и т.п. Однако полистирольные пленки уступают полиэтиленовым и поливинилхлоридным пленкам, они более хрупки. К недостаткам полистирола, ограничивающим его применение, относятся: невысокая теплостойкость, хрупкость, проявляющаяся при ударной нагрузке.

Полиметилметакрилат, называемый также органическим стеклом, является продуктом полимеризации метилового эфира метакриловой кислоты. Метилметакрилат синтезируют в виде бесцветной прозрачности жидкости, подвергая сложной химической переработке исходные сырьевые продукты (нефтяные углеводороды, природный газ и др.).

Особенностью органического стекла является его исключительная прозрачность, бесцветность, способность пропускать ультрафиолетовые лучи, светостойкость и атмосферостойкость. Органическое стекло пропускает 73,5% ультрафиолетовых лучей, обычное силикатное - лишь 0,6%, зеркальное силикатное - 3%, а кварцевое стекло - 100%. Поэтому органическое стекло применяют для остекления окон больниц, витрин, теплиц, парников, фонарей производственных помещений, декоративных ограждений и т.п. При температуре выше 90°С полимер становится эластичным и хорошо формуется. Полиметилметакрилат легко обрабатывается резанием, шлифовкой. Техническое органическое стекло имеет высокую прочность: при сжатии 120-140 МПа. Ударная вязкость органического стекла почти не снижается в интервале температур от 60 до 183^{0}С. Однако недостаточная абразивостойкость и теплостойкость (80^{0}С) ограничивают применение органического стекла. Этот полимер не стоек в растворах кислот и щелочей, легко растворяется в органических растворителях (ацетон и т.п.), при соприкосновении с огнем горит ярким пламенем.

Поливинилацетат получают в результате полимеризации винилацетата (сложного эфира уксусной кислоты и винилового спирта).

Поливинилацетатные смолы бесцветны, эластичны, светостойки, хорошо прилипают к поверхности различных материалов. Поэтому их используют для изготовления эмульсионных красок, клеев, мастик. Водные дисперсии полимера применяют для устройства бесшовных полов, а также вводят в цементные бетоны и растворы с целью увеличения их водонепроницаемости и химической стойкости.

Полиизобутилен $\left(-CH_2-C(CH_3)_2-\right)n$ - продукт полимеризации изобутилена $CH_2 = C(CH_3)_2$, получаемого из продуктов переработки нефти. Полимер представляет собой эластичный каучукоподобный материал. В отличие от каучуков полиизобутилен не способен к реакции вулканизации ("сшивке" молекул). Он легок, как и полиэтилен, но значительно эластичнее. Полиизобутилен способен выдержать относительное удлинение 1000-2000%. Он водостоек, на него не действуют кислоты, щелочи. Высокая морозостойкость обусловлена низкой температурой стеклования (-75°С). Полиизобутилен в сочетании с наполнителями (сажей, графитом, тальком) применяют в разнообразных герметизующих материалах, служащих для уплотнения горизонтальных и вертикальных швов в панельных зданиях. Из него изготовляют липкие ленты, линолеумные клеи, гидроизоляционные материалы. Полиизобутилен хорошо совмещается с битумом, повышая его эластичность на ходу.

Индено-кумароновый полимер получают в результате полимеризации ароматических соединений: кумарона, индена, стирола и их гомологов, находящихся в сыром бензоле и фенольной фракции каменноугольного дегтя. Полимер применяют для лаков, из него изготовляют плитки для пола.

Поликонденсационные полимеры. *Феноло-альдегидные полимеры* получают в результате реакции поликонденсации фенолов (фенола, резорцина, крезола и др.) с альдегидами (формальдегидом, фурфуролом, лигнином и т.п.). Феноло-формальдегидный полимер первый получил широкое применение в технике.

Свойства и характер получаемого продукта реакции поликонденсации фенола с альдегидами определяют химическое строение реагирующих молекул, их молярное соотношение и кислотность реакционной среды. В зависимости от этих факторов получают либо термопластичные (новолачные), либо термореактивные (резольные) полимеры.

Новолачные (новолаки) полимеры с линейным строением молекул и термопластичными свойствами получают при избытке фенола и конденсации в кислой среде.

Резольные термореактивные полимеры с трехмерным строением молекул образуются при избытке формальдегида и конденсации в щелочной среде.

Феноло-формальдегидные полимеры хорошо совмещаются с наполнителями - древесной стружкой, бумагой, тканью, стеклянным волокном, при этом получаются пластики более прочные и менее хрупкие, чем сами полимеры. Поэтому феноло-формальдегидные полимеры широко применяют в качестве связующего при изготовлении древесностружечных плит, бумажнослоистых пластиков, стеклопластиков и разнообразных изделий из минеральной ваты. Эти же полимеры используют для получения клеев, бакелитного лака, водостойкой фанеры. Из твердых резольных полимеров приготовляют пресспорошки и фаолит, из которых производят трубы, листы, плитки и электротехнические изделия (здесь используются высокие диэлектрические свойства полимера). Широкому распространению феноло-формальдегидных полимеров в технике способствует их относительная дешевизна.

Карбамидные (мочевино-формальдегидные) или амино-формальдегидные полимеры изготовляют из мочевины и формальдегида. Карбамидные полимеры бесцветны, хорошо окрашиваются в различные цвета. Эти полимеры сравнительно дешевы. применяют их для изготовления теплоизоляционных материалов (ячеистых пластмасс и сотопластов), слоистых и волокнистых пластиков и клеев.

Кремнийорганические полимеры представляют собой особую группу полимеров. Особенностью строения макромолекулы полимера является наличие кремнийкислородной (силоксановой) связи, как указывалось выше.

В кремнийорганическом полимере молекулы построены из кремнеземистого скелета с органическими ответвлениями (радикалами). Поэтому такой полимер выгодно сочетает лучшие свойства силикатных материалов (высокую теплостойкость) и обычных синтетических полимеров (эластичность и др.) Кремнийорганические полимеры получают из низкомолекулярных кремнийорганических соединений - алкил (арил) хлорсиланов и др.

Низкомолекулярные кремнийорганические полимеры в виде жидкостей (Ко 136-41) используют в качестве водоотталкивающих фасадных красок; эти же жидкости добавляют в бетон с целью придания ему гидрофобных свойств.

Высокомолекулярные полимеры линейной структуры являются синтетическими каучуками, которые применяют в виде различных герметизующих и изоляционных паст и клеев.

Высокомолекулярные полимеры сшитой структуры обладают жесткостью и теплостойкостью более 400°С. На их основе изготовляют жароупорные лаки и эмали, используют в производстве пенопластов и клеев, а в виде связующих и пропитанных составов - при изготовлении слоистых и волокнистых пластиков.

Эпоксидные полимеры получили свое название в виду наличия в их молекуле эпоксидной группы $=C-C=$ (O). Основным сырьем для эпоксидных полимеров является эпихлоргидрин, получаемый из глицерина и пропилена. В большинстве случаев эти полимеры представляют собой жидкости различной вязкости.

Эпоксидные смолы характеризуются высокой химической стойкостью, за исключением сильных окислителей и влажного хлора. Материалы на их основе (клеи, краски, мастики, растворы и бетоны) отличаются высокой прочностью и универсальной клеящей способностью к бетону, металлу, керамике, дереву, стеклу и др. Эти замечательные свойства у них сочетаются с относительно высокой теплостойкостью (100-150°С).

Полиэфиры - это группа полимеров, получаемых в результате поликонденсации многоосновных кислот со спиртами. Широкое применение получил, например, глифталевый полимер. Распространенность сырья и относительная дешевизна позволяет применять полиэфирные полимеры для изготовления стеклопластиков, светопрозрачных и цветных покрытий, санитарно-технических изделий, клеев, фасадных красок и лаков. Полиэфирные полимеры стойки к влажному хлору и концентрированным растворам окисляющих кислот, разрушающим фурановые и эпоксидные полимеры. Однако при длительном воздействии воды прочность полиэфирного полимера понижается (до 40%), уменьшается и его адгезионная способность.

Полиамидные полимеры, получаемые в результате реакции поликонденсации двухосновных кислот и диаминов, сходны с полиэфирными. Их применяют, например, в виде влагоизолирующих пленок.

Полиуретаны готовят из изоцианатов и многоатомных спиртов, содержащих две и более гидроксильные группы. Линейные полиуретаны применяют для изготовления волокон, пленок, листовых материалов, которые выдерживают высокую влажность и температуру до 110°С.

Полиуретановые каучуки синтезируют из диизоцианитов и полиэфиров, причем в зависимости от вида полиэфира получают мягкие эластичные и жесткие материалы, а из них прекрасные звуко- и теплоизоляционные пластмассы.

Полимеры, получаемые путем модификации природных высокомолекулярных веществ (целлюлозы и белков), имеют определенное значение для строительства. Из ацетилцеллюлозы вырабатывают прочные и водостойкие лаки для окрашивания древесины и металла.

Синтетические каучуки являются продуктами полимеризации и сополимеризации ненасыщенных углеводородов. Для получения синтетических каучуков в качестве мономеров применяют: изопрен, бутадиен (дивинил), хлорпрен, изобутилен и др.

В зависимости от исходных мономеров выпускают многочисленные разновидности каучуков: *изопреновый, бутадиеновый, хлорпреновый, бутадиен-стирольный* и др.

Синтетические каучуки применяют для изготовления клеев и мастик (служат для приклеивания линолеума, плиток пола и т.п.). Каучуки необходимы в производстве разнообразных герметизирующих материалов. В качестве компонентов герметиков широко используют бутилкаучуки и хлорпреновые каучуки. Синтетические каучуки служат также для модификации других полимеров с целью придания им упругих свойств.

Резина представляет собой вулканизированный каучук и обычно содержит наполнители (сажу, мел и др.). Вулканизация каучука - это процесс, при котором в результате взаимодействия каучука с серой или другими веществами (либо под влиянием радиации) образуется значительное число новых связей между цепями (цепи "сшиваются"), что приводит к повышению жесткости и теплостойкости, снижению растворимости и набухания в органических растворителях.

Резину используют в качестве материала для чистых полов, отходы резины (в виде дробленой отработанной резины - резиновой крошки) являются компонентом битумнорезиновых материалов (бризола, битумнорезиновой мастики и др.).

§ 4. Основы производства полимерных материалов

Особенности технологических процессов изготовления полимерных материалов зависят от их состава и назначения. Главными технологическими факторами являются определенные температурные и силовые, формирующие изделия, для чего применяется различное оборудование. В основном производство складывается из подготовки, дозировки и приготовления полимерных композиций, которые затем перерабатываются в изделия и обеспечивается стабилизация их физико-механических свойств, размеров и формы.

Основные приемы переработки пластмасс являются: вальцевание, каландрирование, экструзия, прессование, литье, промазывание, пропитка, полив, напыление, сварка, склеивание и др.

Смешение композиций - это процесс повышения однородности распределения всех ингредиентов по объему полимера иногда с дополнительным диспергированием частиц. Смешение может быть периодическим и непрерывным. Конструкция и характер работы смесителей зависят от вида смешиваемых материалов (сыпучие или пастообразные).

Вальцевание - операция, при которой пластмасса формуется в зазоре между вращающимися валками (рис. 14.2). Перерабатываемая масса 2 несколько раз пропускается через зазор между валками 1 и 3, равномерно перемешивается, затем переводится на один валок и срезается ножом 4. На вальцах непрерывного действия масса не только пропускается через зазор, но движется вдоль него, а в конце процесса срезается ножом в виде узкой непрерывной ленты.

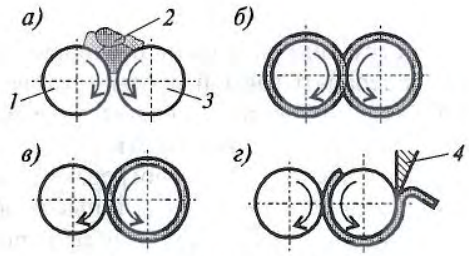


Рис.14.2. Схема вальцевания:
а) загрузка массы; *б)* вальцевание; *в)* переход массы на один валок; *г)* срез массы

Вальцевание позволяет доброкачественно смешивать компоненты пластмасс с целью получения однородной массы, при этом полимер, как правило, переводится в вязкотекучее состояние благодаря повы-

шению температуры при перетирании. При многократном пропускании массы через вальцы происходит пластикация, т.е. совмещение полимера с пластификатором путем ускоренного взаимного проникновения. Вальцы позволяют перетирать и дробить компоненты пластмасс. Это обеспечивается тем, что при движении в зазоре материалы сжимаются, раздавливаются и истираются, поскольку валки могут вращаться с различной окружной скоростью.

Вальцы, на которых происходит окончательная отделка поверхности и калибровка, должны иметь гладкую полированную поверхность. По характеру работы вальцы бывают периодического и непрерывного действия, а по способу регулирования температуры - обогреваемые (паром или электричеством) и охлаждаемые (водой).

Каландрирование - процесс образования бесконечной ленты заданной толщины и ширины из размягченной полимерной смеси, однократно пропускаемой через зазор между валками.

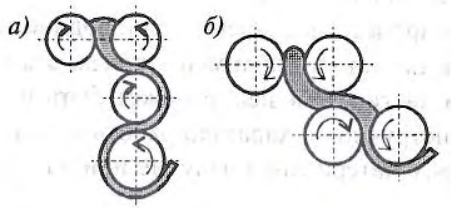


Рис.14.3. Схемы работы четырехвалковых каландров:
а) Г-образный каландр; *б)* Z-образный каландр

По числу валков каландры подразделяются на двух-, трех-, четырех- и пятивалковые. Валки могут располагаться вертикально в линию, горизонтально в линию, Г-образно, L-образно и Z-образно. Схемы работы Г-образного и Z-образного четырехвалковых каландров показаны на рис.14.3.

Конструкции каландров различаются в основном в зависимости от вида перерабатываемой массы - резиновых смесей или термопластов. Валки каландров изготовляют из высококачественного кокильного чугуна. Рабочую поверхность валка шлифуют и полируют до зеркального блеска. Валки обогреваются паром через внутреннюю центральную полость и периферийные каналы.

Как правило, каландрирование выполняется в комплексе с вальцеванием в одной технологической линии.

Экструзией называется операция, при которой изделиям из пластмасс придают определенный профиль путем продавливания нагретой массы через мундштук (формообразующее отверстие). Методом экструзии получают профильные (погонажные) строительные изделия, трубы, листы, пленки, линолеум, пороизол и многие другие. Размеры поперечного сечения изделий, изготовляемых методом экструзии, лежат в большом интервале: диаметр труб ∅5-250 мм, ширина листов и пленок 0,3-1,5 м, толщина 0,1-4 мм. Экструзионными машинами пользуются также для смешения композиций и гранулирования пластмасс. Применяются экструзионные машины двух типов: шнековые с одним или несколькими шнеками и шприц-машины. Наибольшее распространение нашли шнековые, или червячные, экструдеры (рис. 14.4). Рабочим органом машины является винт (червяк), который осуществляет перемешивание массы и продвижение ее через профилирующую головку (дорн). В машину масса подается в виде гранул, бисера или порошка. Размягчение материала происходит за счет тепла, поступающего от обогревателей, которые устанавливаются в нескольких зонах.

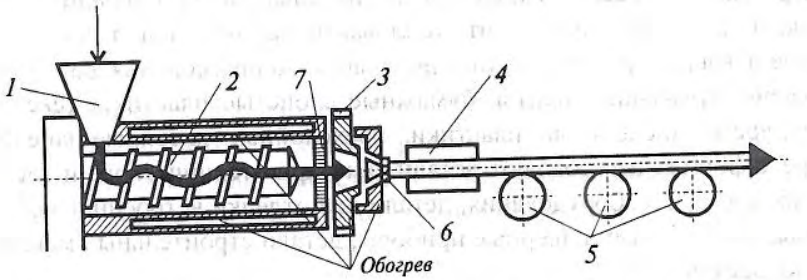


Рис.14.4. Схема работы экструзионной машины:
1 - загрузочный бункер; *2* - шнек; *3* - головка; *4* - калибрующая насадка; *5* - тянущее устройство; *6* - дорн; *7* - фильтр

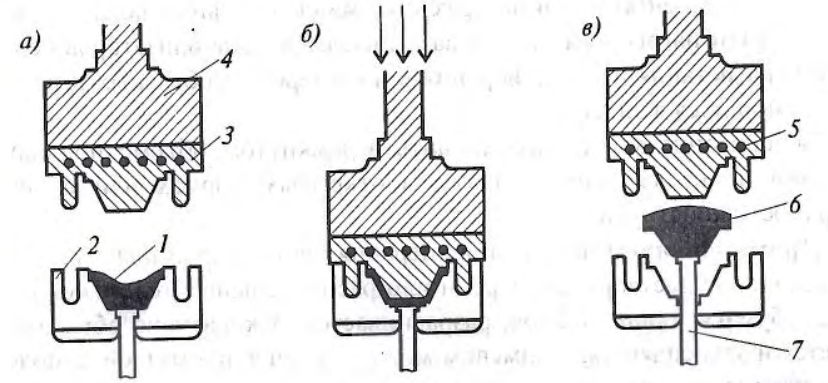


Рис. 14.5. Схема штампования (пресс-формования):
а) загрузка пресс-материала; *б)* смыкание формы и прессование; *в)* выталкивание изделия; *1* - пресс-материал; *2* - обогреваемая матрица пресс-формы; 3 - обогреваемый пуансон; *4* - ползун пресса; *5* - электрообогреватель; *6* - изделие; *7* - выталкиватель

Прессованием называют способ формования изделий в обогреваемых гидравлических прессах. Различают формование в пресс-формах (рис. 14.5) - при изготовлении изделий из пресс порошков и плоское прессование в многоэтажных прессах - при изготовлении листовых материалов, плит и панелей. Прессование применяется преимущественно при переработке термореактивных полимерных композиций (фенопласты, аминопласты и др.).

Для прессования строительных листовых материалов и панелей применяют многоэтажные гидравлические прессы усилием от 10 до 50 т, обогреваемые подогретой водой или паром. Прессование на многоэтажных прессах складывается из следующих операций: загрузка пресса, смыкание плит, тепловая обработка под давлением, снятие давления, разгрузка. Методом плоского прессования формуют древесно-стружечные плиты, бумажные слоистые пластики, текстолиты, древесно-слоистые пластики, трехслойные клеенные панели. В пресс-формах изготовляют детали санитарно-технического и электротехнического оборудования, детали для отделки встроенного оборудования, оконные и дверные приборы, детали строительных машин и механизмов.

Вспенивание - метод изготовления пористых звукотеплоизоляционных и упругих герметизирующих пластмасс. Пористая структура пластмасс получается в результате вспенивания жидких или вязкотекучих композиций под влиянием газов, выделяющихся при реакции между компонентами или при разложении специальных добавок (порофоров) от нагревания. Вспенивание веществ - стабилизаторов пены путем нагнетания или растворения в полимере газообразных и легко испаряющихся веществ.

Вспенивание может происходить в замкнутом объеме под давлением и без давления, а также в открытых формах или на поверхности конструкции.

Промазыванием называется операция, при которой пластическая масса в виде раствора, дисперсии или расплава наносится на основание - бумагу, ткань, войлок, разравнивается, декоративно обрабатывается и закрепляется. Примером может служить промазной линолеум, павинол, линкруст и др. Наносимая масса разравнивается специальным ножом-раклей, регулирующим толщину слоя и степень вдавливания. Обычно основание движется, а разравнивающий нож неподвижен; регулируется лишь его наклон и зазор. Нанесенная и разровненная масса проходит обычно этап термообработки для размягчения и лучшего сцепления ее с основанием.

Пропитка состоит в окунании основы (ткани, бумаги, волокон) в пропиточный раствор с последующей сушкой. Эта операция осуществляется в пропиточных машинах вертикального и горизонтального типа. Методом пропитки получают клеящие пленки (бакелитовая), декоративные пленки (мочевино-меламиновые), а также полотнища на основе стеклянных, асбестовых и хлопчатобумажных тканей, из которых в дальнейшем получают текстолиты.

Полив - это процесс, при котором пластическая масса распределяется тонким слоем на металлической ленте или барабане и, затвердевая, снимается в виде тонкой пленки. Часто этот процесс связан с испарением растворителей. Таким путем получают, например, ацетилцеллюлозные прозрачные пленки.

Литье. Различаются два вида литья: простое в формы и под давлением. При простом литье жидкая композиция или расплав заливаются в формы и отвердевают в результате реакций полимеризации, поликонденсации или вследствие охлаждения. Примером служат отливка плиток пола из реактопластов, получение органического стекла и декоративных изделий из полиметилметакрилата. Охлаждением расплава при простом литье получают некоторые простейшие изделия из полиамидов (поликапролактама).

Литье под давлением применяется при изготовлении изделий из термопластов. Полимер нагревается до вязкотекучего состояния в нагревательном цилиндре литьевой машины (рис. 14.6) и плунжером впрыскивается в разъемную форму, охлаждаемую водой.

Давление, под которым впрыскивается расплав, может достигать 20 МПа. Таким способом изготовляют изделия из полистирола, эфиров целлюлозы, полиэтилена, полиамидов. Литье под давлением отличается быстротой цикла, при этом виде переработки операции автоматизированы.

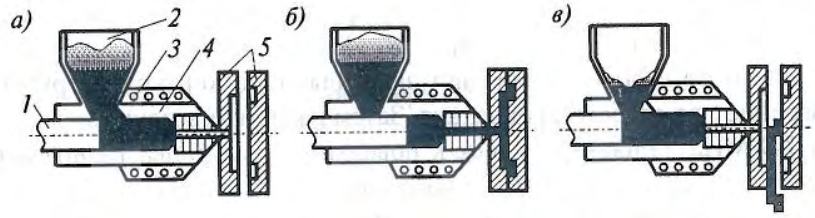


Рис. 14.6. Схема работы машины для литья под давлением:
а) плавление и пластификация массы; *1* - поршень; *2* - загрузочный бункер; *3* - обогреватели цилиндра; *4* - цилиндр; *5* - разъемная форма; *б)* впрыскивание массы в форму и выдержка; *в)* размыкание формы

Формованием называют переработку листовых, пленочных, трубчатых пластмассовых заготовок с целью придания им более сложной формы и получения готовых изделий. Формование производят в основном при нагревании. К главным методам формования из листов относят штампование, пневмоформование и вакуум-формование (рис. 14.7).

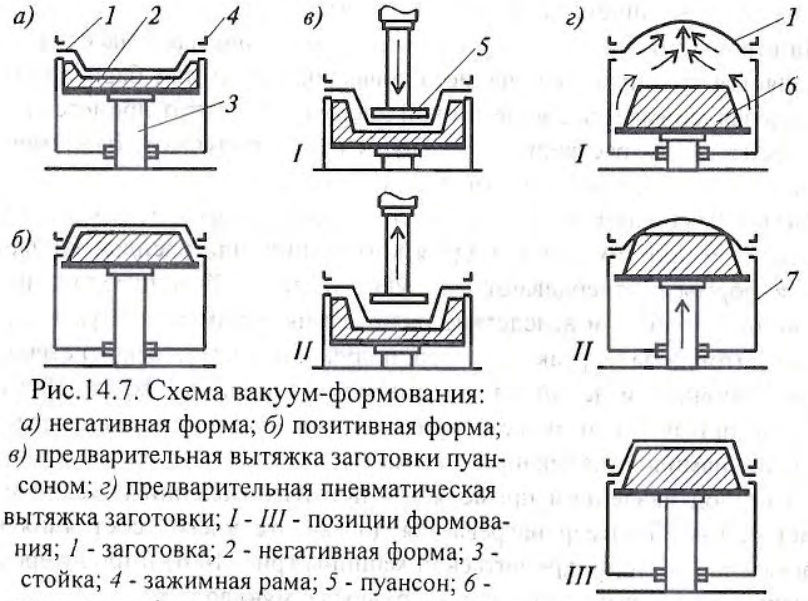


Рис.14.7. Схема вакуум-формования:
а) негативная форма; *б)* позитивная форма; *в)* предварительная вытяжка заготовки пуансоном; *г)* предварительная пневматическая вытяжка заготовки; *I - III* - позиции формования; *1* - заготовка; *2* - негативная форма; *3* - стойка; *4* - зажимная рама; *5* - пуансон; *6* - позитивная форма; *7*- формовочная камера

При штамповании из листов вырезают заготовки, нагревают их, помещают в пресс-форму между матрицей и пуансоном и сжимают под давлением до 1 МПа. Таким путем изготовляют детали канализационных систем из винипласта, световые колпаки из оргстекла для покрытий промышленных зданий, профильные детали из текстолитов для строительных конструкций.

При пневмоформовании лист закрепляют по контуру матрицы и нагревают до слабого провисания. Затем нагретым воздухом, сжатым до 7-8 МПа, прижимают лист к поверхности матрицы. Разновидностью этого способа является свободное выдувание. Таким способом получают световые колпаки, емкости, кольца из полиакрилатов, детали вентиляционных систем и химически стойкой аппаратуры из поливинилхлорида.

При вакуум-формовании лист закрепляют по контуру полой формы, нагревают и создают разрежение в полости. Под влиянием атмосферного давления лист прижимается к поверхности формы. Таким путем изготовляют детали санитарно-технического оборудования из ударопрочного полистирола, полиакрилатов, виниловых полимеров.

Напыление - способ нанесения на поверхность порошкообразных полимеров, которые, расплавляясь, прилипают к ней, а при охлаждении образуют прочную пленку покрытия. Различают газопламенное, вихревое и псевдосжиженное напыление. При газопламенном напылении порошок полимера (полиэтилен, полиамид, поливинилбутироль), проходя через пламя, расплавляется и, падая на поверхность каплями, прилипает, образуя слой нужной толщины.

Сварка и склеивание служат для соединения заготовок из пластмасс для получения изделий заданной формы. Сварку применяют для соединения термопластических пластмасс - полиэтилена, поливинилхлорида, полиизобутилена и др. По способу нагревания соединяемых концов различают сварку воздушную (нагретым воздухом), высокочастотную, ультразвуковую, радиационную, контактную.

Склеивание применяют для соединения как термопластичных, так и термореактивных пластмасс. В простейшем случае клеем для термопластичных пластмасс может служить органический растворитель, вызывающий набухание стыкуемых концов деталей и их слипание при сжатии. Чаще же используют специальные клеи. В зависимости от условий производства и требуемой скорости соединения применяют клеи холодного и горячего отверждения.

§ 5. Некоторые изделия из полимерных материалов

Материалы для несущих и ограждающих конструкций

Полимербетоны - композиционные материалы, изготовляемые преимущественно на основе термореактивных полимеров: полиэфирных, эпоксидных, феноло-формальдегидных, фурановых и др. Заполнители выбираются в зависимости от вида агрессивной среды. Для кислых сред изготовляют полимербетоны на кислотостойких заполнителях - кварцевом песке и щебне из кварцита, базальта или гранита. Используют также бой кислотоупорного кирпича, кокс, антрацит, графит.

Наиболее высокие физико-механические свойства полимербетоны имеют на эпоксидных смолах. Для уменьшения расхода и стоимости эпоксидных смол их модифицируют каменноугольной смолой (до 35-50%). Широкое распространение получили полимербетоны на фурановых полимерах, которые модифицируют эпоксидными смолами для улучшения свойств композиций.

Расход связующего составляет 100-200 кг на 1 м^3 полимербетона при соотношении к наполнителю 1:5-1:12 по массе. Технология приготовления и уплотнения полимербетонов такая же как и цементных. Термообработка при 40-80°С значительно ускоряет процесс твердения. Полимербетоны (полимеррастворы) хорошо склеиваются с цементным бетоном, поэтому его применяют для ремонта железобетонных конструкций.

Для уменьшения хрупкости полимербетона применяют волокнистые наполнители - асбест, стекловолокна и др. Полимербетоны отличаются от обычного цементного бетона не только химической стойкостью (особенно по отношению к кислотам), но и высокими показателями прочности, в особенности при растяжении (7-20 МПа) и изгибе (16-40 МПа). Прочность при сжатии достигает 60-120 МПа. Морозостойкость полимербетонов может иметь 200-300 циклов замораживания и оттаивания; теплостойкость - 100-200°С. Но их стоимость в несколько раз выше цементных блоков.

Применяют полимербетоны для химически стойких конструкций, износостойких покрытий, там, где высокая стоимость полимербетонов будет оправдана. Отрицательным свойством полимербетонов является их большая ползучесть, а также старение, усиливающееся при действии попеременного нагревания и охлаждения. Кроме того, необходимо соблюдение специальных правил охраны труда при работе с полимерами и кислыми отвердителями, могущими вызвать ожоги. В частности, необходима хорошая вентиляция, обеспечение рабочих защитными очками, резиновыми рукавицами, спецодеждой.

Стеклопластики - это композиционные листовые материалы, изготовляемые из стеклянных волокон или тканей, связанных полимером. Связующим веществом в стеклопластиках обычно служат феноло-формальдегидные, полиэфирные и эпоксидные полимеры. Выпускают три разновидности стеклопластиков: на основе ориентированных волокон, рубленых волокон и тканей или матов.

Стеклопластики с ориентированными волокнами (типа СВАМ – стекловолокнистого анизотропного материала) обладают большей

прочностью (при растяжении до 1000 МПа), легкостью (их плотность 1,8-2 г/см^3), что в сочетании с химической стойкостью делает их эффективным материалом для строительных конструкций, емкостей и труб.

Стеклопластики с рубленым стеклянным волокном изготовляют в виде волокнистых или плоских листов на полиэфирном связующем, обладающим светопрозрачностью. Эти изделия применяют для устройства кровель, ограждений балконов, лоджий и перегородок.

Стеклопластики, изготовляемые на основе стеклянной ткани - (**стеклотекстолиты**), получают горячим прессованием полотнищ ткани, пропитанной термореактивным полимером, при высоком давлении и температуре. Стеклотекстолит идет для наружных слоев трехслойных стеновых панелей (внутренний слой панели из теплоизоляционного материала). Этот же материал применяют для устройства оболочек и других строительных конструкций.

Стеклотекстолиты получают также прессованием пастообразной массы из полиэфирного полимера, стекловолокна, асбеста и порошкообразного наполнителя. Из этого материала формуют оконные и дверные блоки, фурнитуру, санитарно-технические изделия.

Облицовочные полистирольные плитки - тонкие квадратной или прямоугольной формы с гладкой наружной и рифленой тыльной поверхностью. Плитки изготовляют методом литья под давлением на литьевых автоматических машинах. Полимерная композиция включает кроме полимера еще наполнитель (тальк, каолин), пигмент, а иногда и модифицирующие добавки. Толщина плиток - 1,25-1,5 мм, поэтому масса 1 м^3 плиток составляет лишь 1,5-1,7 кг. К поверхности стен плитки приклеивают полимерными или каучуковыми мастиками. Плитки имеют красивые расцветки, гигиеничны, водо- и химически стойки. Плитки применяют для облицовки стен санузлов и торговых помещений. Однако полистирольные плитки горючи, поэтому их нельзя использовать возле открытого огня (например, около газовых плит).

Отделочные полистирольные плитки ("полиформ") изготовляют из ударопрочного полистирола с добавлением вспенивающего компонента толщиной 8-10 мм. Панели крепят при помощи шурупов и гвоздей, используют для внутренней облицовки потолков, стен, а также для устройства передвижных перегородок и элементов интерьера.

Бумажно-слоистые пластики изготовляют из нескольких слоев специальной бумаги, пропитанных феноло-формальдегидным или

карбамидным полимером. Пластик выпускают в виде листов длиной 1000-3000 мм, шириной 600-1600 мм, толщиной 1-5 мм. Бумажнослойные пластики разнообразны по цвету и рисунку, хорошо обрабатываются, - их можно пилить, сверлить, фрезеровать. Пластик толщиной до 1,6 мм крепят битумно-каучуковыми и другими мастиками, эпоксидными и резорцино-формальдегидными клеями. Более толстые листы пластика крепят механическим способом.

Материалы для полов

Линолеум выпускают безосновный и на теплозвукоизоляционной основе (тканевой, войлочной, вспененной). Независимо от основы линолеум может состоять из двух или большего количества слоев. Верхний лицевой полимерный слой содержит меньше наполнителей, более стоек к истиранию, эластичен и декоративно оформлен. Последний слой более жесткий, содержит меньше полимера и больше наполнителей, чем лицевой слой. Наполнителями служат тонкие минеральные порошки (мел, тальк и др.).

Линолеум на тканевой основе получают путем нанесения пасты, содержащей полимер, пластификатор, наполнитель, краситель и другие добавки, на джутовую или иную ткань. Затем ткань со слоем нанесенной пасты проходит через термокамеру, в которой происходит полимеризация и превращение пасты в упругий и эластичный материал. Войлочную основу линолеума пропитывают антисептиками для придания биостойкости.

Линолеум-релин (резиновый линолеум) состоит из двух слоев - нижнего (подкладочного), изготовленного из бывшей в употреблении дробленой резины с битумом, и верхнего (лицевого) - из смеси синтетического каучука (резины) с наполнителем и пигментом.

Двухслойный линолеум выпускают и другого типа: лицевым слоем служит обычный линолеум, а подкладочным - ячеистая (вспененная) пластмасса, придающая покрытию пола высокие тепло- и звукоизоляционные свойства.

Около половины общего выпуска рулонных полимерных материалов для пола приходится на долю поливинилхлоридного линолеума. Чистые полы из этого линолеума гигиеничны, биостойки и огнестойки. Низкая себестоимость и незначительные эксплуатационные расходы являются их преимуществом перед паркетным и дощатыми полами. Выпускается также глифталевый (алкидный) и коллоксилиновый (нитроцеллюлозный) линолеумы коричневого и

красного цветов. Из-за повышенной возгораемости коллоксилиновый линолеум не применяют в детских учреждениях, театрах и т.п.

Линолеум изготовляют с гладкой и рельефной поверхностью, придавая ей разные цвета и рисунок. Длина рулонов 12 м, ширина 1,4-1,6 м, толщина 2-4 мм. Укладывают линолеум по ровному основанию, наклеивают с использованием горячих и холодных мастик.

Ковровые синтетические материалы для пола имеют основу из полиуретана (или другого полимера), а для верха ковра применяют синтетические волокна, из которых изготовляют тканые и нетканые покрытия. Например, *ворсолин* состоит из двух слоев: основой его служат поливинилхлоридная пленка, а покрытие выполнено из ворсовой пряжи.

Для устройства чистых полов могут применяться водостойкие **сверхтвердые древесностружечные плитки** с плотностью не менее 950 кг/м^3, имеющие высокую прочность при изгибе (не ниже 50 МПа). Однако при сборке пола даже из крупноразмерных листов все же получаются швы. Из полимерных материалов можно устраивать чистые монолитные полы, вовсе не имеющие швов. Для этой цели применяют мастики, состоящие из связующего полимерного вещества, наполнителей, специальных добавок и красителей.

Бесшовные полы устраивают, применяя состав на основе водоразбавляемой поливинилацетатной эмульсии. Водную дисперсию полимера, воду, наполнитель (молотый песок, зола и т.п.), пигмент загружают в растворомешалку. Полученную после 4-5 мин перемешивания однородную мастику наносят на подготовленное основание пистолетом-распылителем в 2-3 слоя, причем каждый последующий слой наносят после высыхания последующего.

Полиэфирные составы для бесшовных полов приготовляют, используя перекисные инициаторы и наполнители в виде стеклянного волокна, белой сажи и др. Благодаря химической стойкости, сопротивлению ударам и истиранию полимерные полы применяют, в первую очередь, в зданиях с химически агрессивными средами. Однако полиэфирные полы недостаточно водостойки.

Полимербетонные наливные полы толщиной 20-50 мм не только химически стойки, но и способны выдержать тяжелые нагрузки, возникающие при работе внутрицехового транспорта. Полимерным связующим в бетоне являются фенолоформальдегидные, фурановые, эпоксидные или полиэфирные смолы с модификаторами, пластификаторами, отвердителями, стабилизаторами и другими добавками. В состав бетонной смеси помимо связующего входят порошко-

образный наполнитель и заполнители (песок, щебень или гравий). Полимербетонную смесь укладывают на хорошо подготовленное основание и уплотняют виброрейками или катками, потом поверхность пола заглаживают.

Плитки для пола размером 300×300, 200×200 и 150×150 мм изготовляют из поливинилхлорида, инденкумаронового полимера или резины. Износостойкие и химически стойкие плитки получают также из фенолоальдегидных прессовочных порошков, состоящих из полимера, наполнителя и добавок.

Трубы. Санитарно-технические и погонажные изделия

Термопластичные трубы получают из поливинилхлорида, полиэтилена и полипропилена экструзивным способом, прессованием, сваркой или склеиванием из листовых заготовок. Например, трубы из органического стекла получают непрерывным свертыванием листов-заготовок с одновременной сваркой шва. Пластмассовые трубы легки (в 3-6 раз легче стальных), обладают высокой коррозионной стойкостью. Благодаря низкому коэффициенту трения внутренней поверхности пропускная способность труб увеличивается на 30-40% (по сравнению с железобетонными или стальными). Трубы легко резать, сверлить, сваривать.

Их используют при сооружении канализационных и водопроводных сетей, вентиляционных сетей, вентиляционных систем. Прозрачные трубы из органического стекла не имеют запаха, гигиеничны, наибольшее применение находят в парфюмерном производстве и медицинской промышленности.

Стеклопластиковые трубы изготовляют из полиэфирных полимеров, стекложгута, стеклоткани центробежным методом, намоткой на сердечник пропитанной стеклоткани и стеклолент. Стеклопластиковые трубы значительно прочнее других полимерных труб, они выдерживают рабочие температуры до 150°С. Применяют их в основном при строительстве химических предприятий и в нефтяной промышленности.

Для получения **санитарно-технических изделий** применяют полиметилметакрилат, ударопрочный полистирол, полипропилен, полиамиды, стеклопластики. Из пластмасс изготовляют ванны, мойки, сифоны, смывные бачки, детали вентиляторов, отдельные детали в кранах-смесителях и т.д. Все эти изделия отличаются малой массой

(пластмассовая ванна примерно в 10 раз легче эмалированной), коррозионной стойкостью. Изделия из пластмасс обходятся дешевле фаянсовых и чугунных.

Цветные длинномерные элементы для отделки зданий, называемые **погонажными изделиями**, - плинтуса, поручни лестничных перил, наличники, нащельники, защитные уголки для лестничных перил, проступи и т.п. изготовляют на основе поливинилхлорида, полиэтилена, полистирола, органического стекла. Такие профильно-погонажные изделия имеют гладкую поверхность, окрашиваются в различные цвета. Изделия долговечны и обходятся не дороже деревянных.

Полимерные клеи и мастики

Клеи из синтетических материалов обладают высокой клеящей способностью (адгезией) и водостойкостью. Разработаны универсальные составы, которые в отличие от природных клеев хорошо склеивают древесину, пластмассу, металлы, керамику, стекло, природные и искусственные камни. Полимерные клеи дают возможность просто и быстро осуществлять сборку строительных элементов. При этом прочность клеевых стыков может быть выше прочности самого материала.

Широко применяют полимерные клеи для ремонта железобетонных конструкций, главным образом клеями на эпоксидных смолах.

Применение клеев способствовало развитию производства индустриальных деревянных клееных конструкций. Клеи изготовляют из различных полимерных смол, каучуков и производных целлюлозы. Для регулирования свойств в клеи вводят растворители, наполнители, пластификаторы, отвердители. Применяют клеи горячего и холодного отверждения.

Мастиками называют высоковязкие полимерные композиции, способные склеивать различные материалы, покрывать поверхность конструкций довольно толстым слоем для предохранения их от коррозии, заполнять щели, раковины, отверстия и другие углубления для получения гладкой поверхности или обеспечения герметичности. По свойствам и технологии мастики отличаются от клеев только повышенной вязкостью или значительным содержанием наполнителя.

§ 6. Модификация строительных материалов полимерами

Одним из эффективных направлений улучшения свойств традиционных материалов - бетона, дерева, естественного камня, битума и пр. считается обработка их полимерами. Модификацию строительных материалов полимерами осуществляют следующими приемами: введением полимеров в бетонную или растворную смесь при перемешивании; пропиткой полимерами готовых изделий; нанесением полимерных покрытий на поверхности; введением полимерных волокон и заполнителей.

Материалы, модифицированные полимерами, характеризуются повышением прочности при всех видах механического загружения, но особенно при растяжении; улучшением деформативных характеристик, выражающихся в уменьшении жесткости, несколько большей предельной деформативности; повышенным сопротивлением динамическим воздействиям благодаря проявлению свойств высокой эластичности полимеров; повышением химической стойкости, водостойкости и водонепроницаемости; уменьшением истираемости; повышением адгезии, т.е. способности сцепляться с другим материалом и служить в качестве клеящего состава. С этой же целью в древности в известковые растворы добавляли творог, сыр, яйца, кровь животных - органические вещества.

Строительные материалы, модифицированные полимерами, можно полностью отнести к **композиционным материалам**. В данном случае роль *первичной фазы матрицы* играет *модифицированный материал*, а роль *вторичной фазы - полимерная добавка.*

Ниже приводятся примеры модификации некоторых материалов полимерами.

Модификация бетонов

Полимерцементный бетон - это цементный бетон с полимерной добавкой, составляющей 10-20% от вяжущего. Правильнее цементнополимерный бетон, но название укоренилось с начала применения таких бетонов (растворов). От обычных цементных бетонов он отличается повышенными свойствами за счет затвердевшего полимера, который. равномерно распределяясь в цементном камне, как бы армирует его. По виду минерального связующего могут быть составы полимерцементные (портландцемент, пуццолановый и т.п.), полимеризвестковые и полимергипсовые.

Добавками служат различные высокомолекулярные органические соединения, наиболее распространенные поливинилацетат (ПВА), латексы, водорастворимые эпоксидные смолы и др. Добавки вводят в бетонную смесь при ее приготовлении.

Влияние полимерной добавки на прочность полимерцемента связано с условиями твердения и вида полимера. Например, присутствие ПВА придает полимерцементному бетону высокую прочность при растяжении и изгибе, что проявляется только при твердении в воздушно-сухих условиях (влажность воздуха 40-50%). Прочность при сжатии для сухого полимерцементного бетона меньше, чем для обычного бетона, твердеющего во влажных условиях (влажность 90-100%). Такие же закономерности характерны и для полимерцементных бетонов с другими полимерными добавками.

Усадка полимерцементных бетонов с добавкой ПВА и латексов в несколько раз выше чем у обычного бетона. Такое увеличение усадки связано с процессом пленкообразования полимера. Пленка, обладая высокой адгезией к составляющим, стягивает скелет цементного камня и увеличивает тем самым общую усадку. Для составов с водорастворимыми полимерами характерно снижение усадки по сравнению с обычными бетонами. Также уменьшаются деформации ползучести, что объясняется повышенной плотностью бетона и уменьшением дефектов в структуре бетона.

Например, бетоны с водорастворимыми полимерами нормально-влажного твердения способны выдержать 150...300 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Полимерцементные бетоны имеют повышенную стойкость к действию морской воды и щелочей. Полимерцементные бетоны с ПВА удовлетворительно сохраняют свойства в маслах, керосине и других неполярных средах, но снижается прочность в жирах. По износостойкости полимерцементные бетоны превосходят цементный бетон в 15-20 раз.

Применяют полимерцементные бетоны для полов промышленных зданий, ремонта дорожных и аэродромных покрытий, для замоноличивания стыков и заделки швов железобетонных конструкций, антикоррозионных покрытий и пр.

Бетонополимеры - это затвердевшие бетоны, пропитанные полимером. Бетоны имеют микротрещины, каверны, пустоты, которые понижают его прочностные характеристики, снижают водостойкость и т.п. В плотном бетоне объем пор может составлять 8-20%. Для пропитки используют жидкие мономеры (метилметакрилат или стирол),

полимеры (эпоксидные и полиэфирные смолы) и различные композиции на их основе. Раньше для повышения стойкости бетона применяли битумы, которыми пропитывали сваи, части фундаментов и др.

Современная технология производства бетонополимерных изделий состоит из следующих операций: изготовление бетонных изделий обычным путем; высушивание при температуре 110°С в течение 10-20 ч; вакуумирование бетона для удаления воздуха и паров воды из перового пространства; пропитка мономером под давлением; отверждение мономера в порах бетона.

Прочность бетонополимера на сжатие повышается в 2-10 раз по сравнению с исходным бетоном. Прочность на растяжение увеличивается в 3-10 раз. Соответственно возрастает его прочность на изгиб. С увеличением содержания полимера в бетоне, прочность бетонополимера возрастает. Увеличивается стойкость бетонополимеров в агрессивных средах и водонепроницаемость, морозостойкость может превышать 5000 циклов. Однако многоступенчатость технологии и потребность специального оборудования для пропитки и отверждения мономера повышает стоимость изделия, ограничивает размеры.

В настоящее время разработан метод пропитки бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций мономером метилметакрилатом. При этом бетон просушивается до остаточной влажности 1-2%, снижается летучесть мономера путем введения парафинов, и соответствующие отвердители полимеризуют композицию в течение нескольких часов.

Бетоны с полимерным заполнителем (фибробетон). В бетон вводят полимерные волокна, например, из полипропилена длиной до 100 мм. Полипропилен не смачивается и обладает водоотталкивающими свойствами и поэтому в бетоне отсутствует физико-химическая связь. Сцепление волокон с бетоном носит механический характер. Бетон с полимерными волокнами характеризуется повышенной прочностью на изгиб и растяжение по сравнению с неармированными бетонами: обладает малой деформативностью, повышенной трещиностойкостью, ударной прочностью, удовлетворительной огнестойкостью. Применяется для чеканочных композиций, в дорожных покрытиях, сваях и др.

Введение в ячеистые бетоны гранул пенополистирола дает возможность получить теплоизоляционные материалы М300…400.

Бетоны с полимерными покрытиями. Бетонные и железобетонные конструкции проницаемы для жидкостей и газов, находящихся под давлением, нестойки против многих химически агрессивных сред, обладают высоким водопоглощением, плохими диэлектрическими свойствами, имеют шероховатую поверхность. Для устранения этих недостатков на поверхности бетона устраивают защитные покрытия.

К ним предъявляются следующие требования: высокое сцепление с поверхностью бетона; высокая прочность, эластичность и трещиностойкость, низкая проницаемость для агрессивных сред; долговечность и экономичность.

Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют покрытия на полимерной основе: лакокрасочные, мастичные, полимерцементные, пленочно-плиточные, листовые. Большое применение за рубежом нашли эпоксидные составы для мостовых, аэродромных покрытий, что защищает проезжую часть от износа.

Бетоны в пенопластовой опалубке. Для возведения стен малоэтажных домов применяют пустотелые блоки из пенополистирола, служащие опалубкой, в которую устанавливают арматуру и укладывают бетон. Таким образом получают слоистые монолитные железобетонные стены с теплоизоляцией. Поверхность стен затирают мастиками.

Модификация битумов

С течением времени при хранении и в эксплуатационных условиях под действием солнечного света и кислорода воздуха состав и свойства битумов изменяются: в них увеличивается относительное содержание твердых и хрупких составляющих и соответственно уменьшается количество маслянистых и смолистых фракций, в связи с чем повышается хрупкость и твердость (процесс старения).

Улучшить свойства битумов возможно путем совмещения их с полимерными добавками.

Полимербитумные материалы можно рассматривать как *композиты*, в которых роль *матрицы играет битум*, а дисперсной фазой является полимер. При небольших концентрациях полимера композиции можно рассматривать как дисперсно упрочненные. При этом упрочнение происходит за счет того, что тонкие дисперсные частицы препятствуют распространению трещин в матрице. Такой эффект наблюдается при содержании дисперсной фазы в размере 2-4% по объему. При большей концентрации полимера в битуме композиции можно рассматривать как волокнистые или смолистые. Матрица превращается в среду, передающую нагрузку на волокна, а в случае их разрушения перераспределяет напряжения. Такие композиции харак-

теризуются повышенной прочностью, эластичностью и сопротивлением усталостному разрушению, что особенно необходимо для обеспечения эксплуатационной надежности материала, например, полимербитумные композиции модифицированные бутилкаучуком и полиэтиленом.

Полимербитумные связующие используются при изготовлении мастик, герметиков, рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, а также гидротехнического асфальтополимербетона.

В асфальтополимербетоне в качестве полимерных добавок можно использовать различные каучуки. Такие бетоны применяются при устройстве противофильтрационных экранов на химических предприятиях и тепловых электростанциях.

В настоящее время освоено производство рулонных кровельных и гидроизоляционных полимербитумных материалов.

При введении гранул вспенивающегося полистирола в расплав битума или асфальта можно получить пенопласт, который будет работать как тепло- гидроизоляционный материал.

Модификация древесины

Древесина мягких лиственных пород, модифицированная полимерами, приобретает улучшенные свойства. По своим физико-механическим показателям она не уступает твердым лиственным породам, а иногда и превосходит их. Модификация таких пород, как береза, ольха, осина и тополь, позволяет значительно увеличить ресурсы древесины за счет продления срока ее службы и улучшения ее физико-механических свойств. Паркет, изготовленный из модифицированной низкосортной древесины, не уступает по свойствам паркету из дуба и ясеня.

Для модификации древесины применяются полимеры (фенолоальдегидные, резорцино-формальдегидные, мочевино-формальдегидные, меламино-формальдегидные, кремнийорганические, фурановые, ненасыщенные полиэфиры) и мономеры (стирол, метилметакрилат).

Технология модификации древесины состоит из 2-х процессов: пропитки древесины олигомерами или мономерами и их отверждения. При пропитке древесины метилметакрилатом предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон возрастает в 3 раза. Поперек волокон - в 4-6 раз и ее истираемость снижается вдвое. При пропитке

древесины фенолоспиртами (до 50-55%) предел прочности возрастает в 3 раза, достигая 180 МПа.

В результате модификации древесины фурановыми соединениями прочность древесины при сжатии повышается в 1,5-2 раза, твердость возрастает вдвое, прочность при статическом изгибе и скалывании вдоль волокон увеличивается незначительно, истираемость ее снижается в 1,5 раза, водопоглощение древесины снижается более чем вдвое.

Полимер, заполняющий полости клеток древесины, способствует повышению ее биохимической стойкости, снижению возгорания.

Модифицированная древесина обладает повышенной стойкостью к действию агрессивных сред, что объясняется замедленной диффузией агрессивных жидкостей внутрь древесины, а также повышенной химической стойкостью пропитывающих полимеров.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите положительные и отрицательные свойства некоторых полимерных материалов.
2. Что такое полимеризационные и поликонденсационные полимеры, термопластичные и термореактивные, приведите примеры.
3. Из каких компонентов состоит пластмасса?
4. Назовите основные приемы переработки пластмасс и какие материалы при этом можно получить?
5. Назовите основные материалы для полов.
6. В чем заключается модификация традиционных материалов (и каких) полимерами?

Дополнительная литература

1. *Воробьев В.А., Андрианов Р.А.* Технология полимеров. - М., 1980.
2. *В.А. Воробьев.* М. Высшая школа, 1974. Технология строительных материалов и пластических масс.
3. *Патуроев В.В.* Полимербетон. - М.: Стройиздат, 1986.
4. *Черкинский Ю.С.* Полимерцементный бетон. - М.: Стройиздат, 1984.
5. *Микульский В.Г., Козлов В.В.* Модификация строительных материалов полимерами. - М.: МИСИ, 1986.

Г. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ГЛАВА XV. КРОВЕЛЬНЫЕ, ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

§1. Общие сведения

Основная задача, решаемая с помощью как кровельных, так и гидроизоляционных материалов, - создание водонепроницаемого покрытия, защищающего изолируемую конструкцию и здание в целом от воздействия влаги. Однако условия, в которых работают кровельные материалы, существенно отличаются от условий, в которых работают гидроизоляционные материалы.

Кровельные материалы подвергаются периодическому увлажнению и высушиванию, воздействию прямого солнечного излучения (особенно опасно действие его УФ-составляющей), нагреву, замораживанию, снеговым и ветровым нагрузкам.

Чтобы длительно и успешно работать в таких условиях, кровельные материалы должны быть атмосферостойкими, светостойкими, водо- и морозостойкими и достаточно прочными. В тех же случаях, когда крыша является элементом сооружения (мансардные, двускатные, вальмовые и т.п. кровли), материал должен отвечать и определенным архитектурно-декоративным требованиям. И, наконец, технологичность и экономичность – общее требование ко всем кровельным материалам.

Гидроизоляционные материалы, в отличие от кровельных, работают в условиях постоянного воздействия влаги или агрессивных водных растворов (часто под давлением); температурные условия их работы более стабильны, солнечное облучение отсутствует, но возможно развитие гнилостных процессов.

От гидроизоляционных материалов требуется полная водопроницаемость, долговечность, зависящая от гнилостойкости и коррозионной стойкости, и свойства, обеспечивающие сохранение сплошности материала при различных внешних механических воздействиях. Технологичность и экономичность остаются также непременными требованиями.

Герметизирующие материалы – особый вид материалов, назначение которых – обеспечить герметичность (водонепроницаемость и непродуваемость) стыков элементов зданий и сооружений (например, уплотнение стыков между панелями или между оконными блоками и стеной).

Для получения кровельных и гидроизоляционных материалов и изделий используют разнообразные материалы: металлы, керамику (черепицу), асбестоцемент, битумы, полимеры и др. В этой главе рассматриваются самые распространенные кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы, получаемые на основе черных вяжущих (битумов и дегтей) и полимеров.

§2. Кровельные материалы

Материалы на основе битумных, полимербитумных и полимерных связующих – главнейший вид кровельных материалов. К ним относятся самые разные по форме, размерам и физическому состоянию материалы:

- *мембранные* – большеразмерные полотнища (площадью 100…500 м^2);
- *рулонные* – полотнища шириной около 1 м и длиной 7…20 м, поставляемые на строительную площадку в рулонах;
- *штучные и листовые* – мелкоразмерные полосы и листы (площадью не менее 1 и 2 м^2 соответственно);
- *мастичные* – вязкие жидкости, образующие водонепроницаемую пленку после нанесения на изолируемую конструкцию.

Выбор того или иного материала зависит от многих факторов:

- конструктивных (угол наклона крыши, материал основания и др.);
- технологических (простота устройства покрытия);
- архитектурно-декоративных (желаемый цвет и фактура поверхности кровли);
- экономических (стоимость и долговечность).

Рулонные материалы. Этот вид кровельных материалов находит наибольшее применение. Площадь кровель, выполненных из рулонных материалов, составляет 45…47% от общей площади кровель в России. Объясняется это, с одной стороны, невысокой стоимостью самих материалов и простотой устройства кровельного покрытия, а с другой – тем, что рулонные материалы – наиболее удобный вид кровельного материала для плоских (угол наклона 3…6^0) кровель, характерных для типовых многоэтажных панельных и кирпичных зданий. Применяются рулонные материалы и для индивидуального строительства в сельских районах.

Первые рулонные материалы, появившиеся в начале XX в., - это толь, пергамин и рубероид. В основе этих материалов лежит кровельный картон, пропитанный черными вяжущими.

Кровельный картон получают из вторичного текстиля, макулатуры и древесного сырья. Картон имеет рыхлую структуру и хорошо

впитывает влагу и другие жидкости (в частности, расплавленный битум). При увлажнении под действием солнечного излучения и в результате гниения картон теряет свои свойства. Пропитка битумом и дегтем замедляет эти процессы.

Марка картона устанавливается по его поверхностной плотности (масса 1 м^3 картона в г); она может быть от 300 до 500; ширина кровельного картона – 1000; 1025 и 1050 мм.

Толь – картон, пропитанный и покрытый в двух сторон дегтем. В качестве кровельного материала толь применяют лишь для временных сооружений, так как деготь быстро стареет на солнце и материал разрушается через 2-3 г. Более целесообразен толь для гидроизоляции, где отсутствует солнечное излучение, и где важную роль играют антисептические свойства дегтя.

Пергамин – простейший рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона расплавленным легкоплавким битумом (например, БНК 45,180). Применяют пергамин для нижних слоев кровельного ковра и для устройства пароизоляционных прокладок в строительных конструкциях. Марки пергамина П-300; П-350 и т.п. (П – пергамин; 300 – марка картона).

Рубероид – многослойный материал, получаемый, как и пергамин, пропиткой кровельного картона легкоплавким битумом и последующего нанесения с обеих сторон слоя тугоплавкого битума, наполненного минеральным порошком. Лицевая сторона рубероида покрывается «бронирующей» посыпкой (песком, слюдой, сланцевой мелочью и т.п.), защищающей материал от УФ-излучения; нижняя сторона – порошком из известняка или талька, для защиты от слипания слоев в рулоне. Длина рулона 10…20 м.

Марки рубероида – РКК-420; РКЧ-350 и т.п. (Р – рубероид; К – кровельный; К и Ч – вид посыпки, соответственно, - крупнозернистая или чешуйчатая). Для нижних слоев кровельного ковра выпускается рубероид подкладочный (П) с пылеватой посыпкой (П) с обеих сторон (например, РПП-300)

Качество рулонных кровельных материалов оценивается в соответствии со стандартом комплексам показателей:

- прочностью, характеризуемой силой, необходимой для разрыва образца материала шириной 5 см, Н;
- деформативностью, характеризуемой относительным удлинением материала при разрыве, %;
- гибкостью на холоде, характеризуемой минимальной температурой, при которой образец материала не трескается при загибе его

вокруг бруса радиусом 25 мм (для материалов с основой) и 5мм (для безосновных), ^{0}С;

- теплостойкостью, характеризуемой максимальной температурой, при которой у вертикально подвешенного образца не наблюдается стекания покровной массы, ^{0}С;
- водопоглощением, %;
- водонепроницаемостью, характеризуемой временем, в течение которого образец не пропускает воду при определенном давлении.

Так, рубероиды марок РКК-400; РКК-350 и РПП-300 в соответствии с техническими условиями должны иметь следующие показатели:

технические характеристики материала

Показатели	РК-400	РКК-350	РПП-300
Разрывная сила при растяжении, Н, не менее	340	320	220
Теплостойкость, ^{0}С, не менее	80	80	80
Гибкость на брусе R – 25 мм, ^{0}С	+5	+5	+5
Водопоглощение, %	2,0	2,0	2,0
Водонепроницаемость при давлении Р = 0,001 МПа в течение, ч.	72	72	72

Кровля из рубероида и пергамина многодельна, так как представляет собой многослойный (3…5 слоев) кровельный ковер, выклеиваемый на крыше с помощью битумных мастик. Из-за хрупкости битумного связующего на холоде устройство кровли из рубероида невозможно в зимний период.

Помимо этого, кровли из обычного рубероида и пергамина имеют невысокую долговечность – 5…6 лет. Последнее объясняется низкими значениями прочности и водо- и биостойкостью картонной основы. А также узким интервалом рабочих температур битумного вяжущего: на холоде (около 0^{0}С) он становится хрупким, а при нагреве до 60…80^{0}С размягчается и течет. Кроме того, и битум, и картонная основа быстро стареют под действием солнечного излучения и кислорода воздуха.

Через несколько лет эксплуатации на крыше рубероид становится жестким и кровельный ковер при небольших деформациях (температурных, усадочных и др.) трескается и кровля начинает протекать.

Современные рулонные материалы прошли длинный путь совершенствования свойств и мало напоминают традиционный рубероид. Модификация рубероида происходила в несколько этапов.

Первым этапом было упрощение технологии устройства кровельного ковра благодаря внедрению ***наплавляемого рубероида.*** Он от-

личается от обычного рубероида более толстым слоем битума (в особенности, на нижней стороне материала, где, в соответствии со стандартом, расход битума должен быть не менее 1500 г/м^2). Из наплавляемого рубероида кровельный ковер получают без клеящих мастик путем подплавления нижней поверхности рубероида газовой горелкой с последующей его прикаткой.

Следующим шагом была ***замена основы*** непрочной и подверженной гниению картонной основы на более *прочную* и *гнилостойкую*. Были опробованы асбестокартон и основы на базе *стекловолокна* и *синтетического волокна* «полиэстер» в виде тканей, холста и нетканого полотна*. В настоящее время предпочтение отдают нетканым основам и стеклохолсту. Стекловолокнистые основы отличаются малым удлинением при разрыве (ε = 1,5…3%); у синтетических – оно выше (ε = 35…40%).

Производят материалы на основе алюминиевой и медной фольги (например, материал *фольгоизол*). Фольга, находящаяся на лицевой стороне материала, придает ему декоративные свойства и защищает от солнечного излучения.

Применение новых прочных и долговечных основ, в свою очередь, потребовало модификации битумного связующего в сторону повышения его долговечности и расширения диапазона рабочих температур. Эта задача была решена путем ***модификации битума полимерами***. Полимерные добавки позволяют расширить интервал рабочих температур битума (снижая температуру хрупкости и повышая температуру размягчения) и обеспечивают сохранение эластичности вяжущего длительное время (т.е. повышают долговечность материала). В настоящее время для модификации битума используют в основном *термоэлапласты*, в частности, атактический полипропилен (АПП) – побочный продукт при производстве полипропилена, по внешнему виду и свойствам напоминанет невулканизированный каучук, и *синтетические каучуки*, например, стиролбутадиен-стирольный (СБС).

Битумы, модифицированные АПП, по сравнению с обычным окисленным битумом характеризуются высокой теплостойкостью, хорошей гибкостью на холоде (до – 20^{0}С) и высокой устойчивостью

* *Стеклохолст* – простейший вид стеклоткани, выполненный полотняным переплетением (через раз) из нескрученных прядей стеклянного волокна (ровницы). *Нетканое полотно* – полотно, в котором волокна расположены хаотически (например, сукно или войлок) и скрепляются между собой силой трения, клеевым составом или термической сваркой.

к атмосферным воздействиям. Битумы, модифицированные СБС, характеризуются еще более высокой гибкостью на холоде (до – 30^{0}С), но они более чувствительны к УФ-облучению, в связи с чем требуют применения эффективной защиты от солнечного света. Материалы на основе таких модифицированных битумов имеют расширенный диапазон эксплуатационных температур, повышенную долговечность и позволяют производить работы по устройству кровли из рулонных материалов при отрицательных температурах (т.е. практически круглый год).

У современных рулонных битумно-полимерных материалов для защиты от солнечного излучения применяют бронирующие посыпки из цветной минеральной (сланцевой, керамической) или полимерной крошки. Такие посыпки более надежны, чем традиционные (песок, слюда), и придают декоративность материалу.

Промышленность рулонных кровельных материалов выпускает большое количество материалов на различных основах и с различными модификаторами, при этом каждое предприятие дает свое собственное название материалу. Так, завод «Филикровля» (Москва) производит материал «Филизол», завод «Изофлекс» (Кириши, Санкт-Петербург) выпускает широкий спектр материалов под названием «Изопласт» и т.д.

Однако все эти материалы в принципе имеют одно и то же строение: многослойный композиционный материал на прочной негнющей основе, на которую с обеих сторон нанесен толстый слой битумно-полимерного связующего с декоративной посыпкой на верхней стороне и пленочной защитой от слипания на нижней.

Толщина современных рулонных материалов 3…5 мм, что позволяет делать кровельный ковер двухслойным (а не 3…5 слойным) и укладывать его методом наплавления.

Штучные материалы. Рулонные материалы в основном применяют для крыш с малым уклоном. Зрительно они образуют монотонную, лишенную декоративности поверхность. Для плоских, «невидимых» для людских глаз крыш это не имеет значения. В современном строительстве входят в моду крыши с большим уклоном (15…60^0), поверхность которых уже является декоративным элементом здания. В этом случае необходимы кровельные материалы, придающие кровле цвет и фактуру. Традиционно такими материалами были черепица, натуральный шифер (плитки из сланца) и дранка. Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны. Как альтернативный вариант промышленность предлагает ***мяг-***

кую черепицу – штучный материал, получаемый на основе традиционных рулонных материалов, путем вырубки из полотна фигурных полос, которые при укладке напоминают кровлю из натурального шифера или дранки. Мягкая штучная кровля не нова: еще в 30-е годы в СССР использовались плитки из «рубероидного срыва», а в США – плитки «Шинглс».

Сейчас подобные плитки улучшенного качества выпускают под различными названиями. Как правило, это листы размеров (900…1000) х (350…400) мм, имитирующие 3…4 штуки плоской черепицы различной формы. Листы крепят к обрешетке гвоздями, а соединение листов друг с другом по вертикали обеспечивают самоклеющие участки на их нижней поверхности. Основанием под мягкую черепицу служит сплошная (дощатая) обрешетка. Минимальный угол наклона кровли $9…10^0$, максимальный не ограничивается; этим материалом можно облицовывать и примыкающие к крышам участки стен. Трудоемкость устройства кровельного покрытия невелика, а вес 1 $м^2$ покрытия не превышает 10…12 кг.

Цвет и шероховатая фактура лицевой поверхности достигаются минеральной посыпкой. Фирмы выпускают плитки практически любого цвета: одноцветные или имитирующие «объемность» материала. Кровли из таких материалов удивительно декоративны. Мягкая черепица более долговечна, чем аналогичные по строению рулонные материалы, из-за того, что она не образует сплошного покрытия, и деформации материала при старении локализуются в каждой плитке в отдельности, что исключает нарушение сплошности покрытия от внутренних напряжений. У мягкой черепицы долговечность кровли будет определяться потерей декоративности из-за потери цветной посыпки плиток.

Волнистые битумно-картонные листы (Ондулин) – штучный материал для кровель, представляющий собой гибкие листы размером 2000 х 1000 мм и толщиной около 3 мм (вес листа ≈ 6 кг). Листы – волнистый картон, пропитанный битумом и с лицевой стороны, окрашенный атмосферостойкой полимерной краской. Окраска создает декоративный эффект и защищает картон и битум от действия солнечного излучения. Этот материал был предложен французской фирмой «Ондулин» в 40-х годах XX в. В настоящее время подобные волнистые листы производят многие фирмы.

Ондулин укладывают по решетчатой обрешетке так же, как асбестоцементные волнистые листы (шифер); возможна укладка по старому кровельному покрытию. Укладку производят с нахлестом в одну волну с помощью гвоздей или шурупов. Долговечность материала более 30 лет.

Мембранные покрытия. Для кровель промышленных, общественных и других зданий с малыми уклонами, прочными и плотными (например, бетонными) основаниями интерес представляют мембранные покрытия. Такие покрытия, как бы развитие идеи кровельного ковра из рулонных материалов, отличающиеся тем, что мембрана сделана из высокоэластичного полимерного материала (эластомеров) с относительным удлинением 200…400% и высокой прочностью на растяжение и прокол. Материал мембраны сохраняет свои свойства при температуре от $– 60^0$С до $+ 100^0$С. Размеры полотнищ таких материалов до 15 х 60 м (т.е. их площадь достигает до 900 $м^2$).

Одним из главнейших преимуществ мембранных покрытий является быстрота устройства кровельных покрытий больших площадей. Полотнища подают на крышу в сложенном виде, разворачивают и укладывают на основание. Стыкуют полотнища друг с другом самовулканизирующимися лентами; ими же выполняют примыкания. Возможна укладка мембран по старому кровельному ковру. Обязательным условием является тщательная очистка основания от твердых частиц. Сверху мембрана пригружается и защищается от УФ-излучения засыпкой гравием или бетонными плитками. При этом крыша может быть «эксплуатируемой».

Мастичные кровельные покрытия получают при нанесении на основание (обычно, бетонное) жидковязких олигомерных продуктов, которые, отверждаясь, образуют сплошную эластичную пленку. Мастики имеют хорошую адгезию к бетону, металлам и битумным материалам. По сути, мастичные кровельные покрытия – это полимерные мембраны, формируемые прямо на поверхности крыши. Особенно удобны мастичные материалы при выполнении узлов примыкания.

Мастики могут применяться как самостоятельно, так и совместно с армирующей основой (например, стеклотканью).

Как правило, мастики представляют собой наполненные системы, пленкообразующим компонентом в которых служит жидкий каучук или другой реакционноспособный эластомер. Непосредственно перед нанесением в основную часть мастики вводится отверждающий (вулканизирующий) компонент. После этого мастика наносится валиком, кистью или распылителем на основание. Используются и однокомпонентные мастики, отверждающиеся кислородом или влагой воздуха.

Большинство мастик позволяет работать даже при отрицательных температурах (до минус $5…10^0$С). Полное отверждение мастики, как

правило, наступает не позже 1 сут. после нанесения. Обычно мастика наносится в 2…3 слоя, в результате чего образуется пленка толщиной 2…3 мм.

Эластичность образующихся пленок очень велика (относительное удлинение при разрыве 300…500%). В случае использования стеклоткани относительное удлинение будет определяться уже стеклотканью, т.е. не превысит 2…4%. Таким образом, увеличение прочности покрытия достигается ценой потери эластичности.

Мастичные покрытия могут устраиваться и по старой рулонной кровле без ее снятия; также возможен ремонт старого мастичного покрытия путем нанесения нового тонкого слоя мастики.

§3. Гидроизоляционные материалы

Гидроизоляционные материалы предназначены для предохранения строительных конструкций от контакта с водой, поглощения воды или от фильтрации воды через них. В зависимости от физического состояния и соответственно технологии их применения гидроизоляционные материалы можно разделить на жидкие, пастообразные пластично-вязкие, твердые упруго-пластичные.

Жидкие гидроизоляционные материалы могут быть пропиточные и пленкообразующие.

Пропиточные материалы – жидкости, проникающие в поры поверхностных слоев материала и образующие там водопроницаемые барьеры или гидрофобизирующие поверхности пор.

Битумы и дегти, переведенные в жидкое состояние, - простейшие пропиточные материалы. Битумы придают пропитанному слою материала водонепроницаемость, а дегти, кроме того, антисептируют материал. Для перевода в жидкое состояние дегти и битумы можно расплавить, растворить в органических растворителях или приготовить из них эмульсию.

Битумные эмульсии готовят в гомогенизаторах (высокоскоростных смесителях). В них расплавленный битум диспергируют в горячей воде (85…90^{0}С), в которой предварительно растворяют поверхностно-активные вещества-эмульгаторы, обеспечивающие стабильность эмульсии. Эмульсии могут модифицироваться полимерами и латексами каучуков. Пропитка эмульсиями целесообразна для влажных материалов.

Пропитка мономерами с последующей их полимеризацией в порах материала обеспечивает их стабильную водонепроницаемость. Наиболее перспективны для этой цели акриловые мономеры. Их полимеризация возможна с помощью инициаторов, введенных в пропитывающую жидкость.

Кремнийорганические жидкости - эффективный пропиточный материал, гидрофобизирущий (придающий водоотталкивающие свойства) пористые материалы. Эти вещества имеют высокую проникающую способность, они атмосферостойки и термостойки. Жидкости не имеют цвета и запаха и не изменяют внешний вид пропитываемого материала.

Самая распространенная кремнийорганическая жидкость применяется в строительстве, - КО 136-041. Для обработки строительных материалов используют 1…10%-ный раствор этой жидкости в органических растворителях или 0,5…3%-ную эмульсию. После высыхания на стенках пор и самом материале образуется тончайшая гидрофобная пленка, прочно скрепленная с материалом.

Инъекционные материалы нагнетают в поры изолируемого материала под давлением. В качестве инъекционных могут использоваться не только все пропиточные, но и более вязкие жидкости (например, эпоксидные смолы, полимерные дисперсии). Принудительное нагнетание гидроизоляционного материала в конструкцию обеспечивает более высокую водонепроницаемость образующегося защитного слоя, чем свободная пропитка, но его выполнение значительно сложнее и дороже ее.

Пленкообразующие материалы – вязкожидкие составы, которые после нанесения на поверхность изолируемой конструкции образуют на ней водонепроницаемую пленку. Образование пленки происходит либо в результате улетучивания растворителя, либо в результате полимеризации. Среди пленкообразующих веществ наибольшее распространение получили разжиженные битумы и битумные эмульсии, лаки и эмали.

Пастообразные гидроизоляционные материалы используют как обмазочные и приклеивающие. Обмазочные материалы после нанесения образуют на изолируемой поверхности достаточно толстый гидроизоляционный слой. К обмазочным материалам относят мастики и пасты – пластично-вязкие системы с ярко выраженными тиксотропными свойствами. Это означает, что они при нанесении на поверхность тем или иным инструментом разжижаются, а затем переходят в твердообразное состояние.

Мастики получают смешиванием органических вяжущих с минеральными наполнителями и специальными добавками (пластифицирующими, структурирующими и др.). По виду вяжущего различают мастики битумные, битумно-полимерные и полимерные; реже используются дегтевые.

Самые распространенные мастики битумные. Они относительно дешевы и имеют хорошую адгезию к большинству материалов. Вы-

пускают такие мастики в двух вариантах: *холодные*, готовые к употреблению (они содержат растворитель) и *горячие*, нуждающиеся в нагреве до 160…180^{0}С для перевода в рабочее состояние.

Последние годы все более широкое распространение получают полимербитумные и полимерные мастики с использованием в качестве связующего синтетических каучуков (бутилового, стиролбутадиенстирольного, тиоколового и др.) и эластомеров (полиизобутилена, хлорсульфополиэтилена и др.).

Мастики в качестве приклеивающего материала (например, для наклейки рулонной гидроизоляции) и в качестве материала, образующего гидроизоляционный слой на обрабатываемой конструкции (например, для обмазки наружных поверхностей стен подвалов и фундаментов). Полимерные мастики применяют также для устройства *антикоррозионных покрытий* на бетонных и металлических конструкциях, работающих в агрессивных средах.

Пасты получают на основе битумов и дегтей путем их диспергирования в присутствии твердого эмульгатора (глины, извести и т.п.). Примерный состав битумной пасты, % по массе:

Битум легкоплавкий	45…55
Глина (известь)	10…15
Вода	35…45

Пасты хорошо смешиваются с наполнителями (песком) и легко наносятся даже на влажные поверхности; после высыхания капли битума сливаются и образуется мастичное покрытие.

Упруго-пластичные гидроизоляционные материалы представлены рулонными материалами (безосновными и на различных основах), аналогичные кровельным. Как уже говорилось, в отличие от кровельных, гидроизоляционные материалы не подвергаются солнечному излучению, но постоянно находятся во влажных условиях, где на первое место выходит гнилостойкость.

Первыми рулонными гидроизоляционными материалами были толь и рубероид (без бронирующей посыпки). Долговечность этих материалов ограничена низкой гнилостойкостью кровельного картона. При этом толь, за счет пропитки дегтем, более долговечен в роли гидроизоляционного материала.

В современных рулонных гидроизоляционных материалах для повышения долговечности надежности используют битумные и полимербитумные материалы на негниющих основах.

Гидростеклоизол – битумный гидроизоляционный материал, состоящий из стекловолокнистой основы, на которую с двух сторон

нанесен слой битумного вяжущего, состоящего из битума, минерального наполнителя (20% от массы вяжущего) и пластификатора-мягчителя. Масса битумного вяжущего 3000±300 г/м^2; материал укрепляется на изолируемой поверхности путем оплавления пламенем газо-воздушных горелок (см. рис. 16.2); рекомендуемая температура работ при укладке – не ниже 10^{0}С.

Гидростеклоизол предназначен для гидроизоляции тоннелей метрополитена, пролетных строений и путепроводов, подвалов, бассейнов и т.п. Для кровельных работ не рекомендуется.

§4. Герметизирующие материалы

Герметизирующие материалы (герметики) применяют для уплотнения швов между элементами сборных конструкций (панелями и блоками наружных стен и т.п.). Они должны обеспечить эластичность, необходимую для восприятия температурных и усадочных деформаций, и не допускать проникания влаги через швы.

В настоящее время для заполнения и уплотнения швов служат герметизирующие мастики (нетвердеющие и твердеющие) и эластичные уплотняющие прокладки.

Герметизирующую мастику наносят в пластичном состоянии специальным инструементом, который может иметь сменные наконечники, приспособленные к конфигурации шва. Поэтому мастика хорошо заполняет не только сам шов, но и места пересечений вертикальных и горизонтальных швов, являющиеся уязвимым местом сборной конструкции. Мастика хорошо прилипает к бетону и сохраняет адгезию к бетону при положительных и отрицательных температурах; она не должна сползать или стекать при повышении температуры (до 60^{0}С). Широко применяют мастики на основе полисульфидных каучуков-тиоколов и резинобитумного вяжущего.

Тиоколовые мастики приготовляют перед началом работ путем тщательного смешения тиоколовой пасты, вулканизирующей добавки, ускорителя вулканизации и разжижителя. В результате процесса вулканизации смесь отвердевает непосредственно в шве и получается эластичный, резиноподобный уплотнитель черного цвета.

Нетвердеющую мастику изготовляют из полиизобутилена, мягчителя (нейтрального масла) и тонкодисперсного минерального наполнителя – мела, известняка и другого порошкообразного материала. Для нагнетания мастики применяют шприц со сменными патронами (рис. 15.3). Термошкаф для подогрева патронов оборудован электронагревателями.



Рис. 15.3. Заделка стыков мастикой с помощью пневматического шприца

Мастика изол представляет собой сложную смесь, составленную из резиновой крошки (полученной измельчением отработанной резины), битума, кумароновой смолы, волокнистого наполнителя (асбеста) и антисептика (антраценового масла). Эту мастику применяют как в горячем состоянии (подогретой до температуры 80-100°С), так и в холодном виде - с добавкой растворителя (бензина, лигроина, зеленого масла и т.п.). Холодная мастика изол используется для обмазки и приклейки пороизола.

Эластичные прокладки выпускают в виде пористых или плотных жгутов на основе резины, полиуретана, синтетических каучуков.

Пороизол - эластичные пористые жгуты, изготовленные из крошки отработанной резины, мягчители, порообразователи и антисептика. Применяют для герметизации вертикальных и горизонтальных швов панелей наружных стен, а также для герметизации зазоров между оконными коробками и примыкающих к ним панелей наружных стен. Пороизол выпускают в виде прямоугольного сечения размером 30х40 мм и 40х40 мм и жгутов диаметром 10-60 мм.

Гернит - пористая эластичная прокладка в виде жгута с водонепроницаемой пленкой на поверхности. Его изготовляют на основе негорючего полихлоропренового каучука, хорошо сопротивляющегося атмосферным воздействиям. Прокладки из гернита выпускают длиной 3 м и диаметром 20, 40 и 60 мм. Плотная наружная оболочка обеспечивает водонепроницаемость гернита: его водопоглощение за 48 ч не превышает 0,4%. Гернит более долговечен, чем пороизол, к тому же он обладает и большим относительным удлинением.

Для герметизации швов применяют прокладки сплошного и полого сечения. Внутри полой прокладки можно создать вакуум; такую прокладку устанавливают в шов, конец ее обрезают, и воздух, заполняя полость прокладки, плотно прижимает ее стенки к кромкам панели, что обеспечивает хорошую герметизацию шва. Необходим постоянный контроль за операциями подготовки швов к герметизации и за качеством самой герметизации. Кромки панелей в местах укладки герметика должны быть очищены от раствора и загрязнения, нужно проверить степень обжатия упругих прокладок (гернит, пороизол и т.п.) в швах по всей длине прокладок, а также плотность приклеивания прокладок к бетонным кромкам панелей.

В настоящее время получил распространение новый вид герметиков – монтажные пены. Это олигомеры, насыщенные газом и отверждаемые на воздухе. Они упакованы в баллончики, при нажатии на клапаны которых выходит газонасыщенный, олигомер, вспенивающийся и отверждаемый на воздухе. Это позволяет обеспечить не только гидроизоляцию, но и теплоизоляцию шва. Широкое распространение получил пенополиуретановый герметик Рипор – 6Т НД.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая разница между рубероидом и толью?
2. По каким признакам определяются марки рубероида?
3. Назовите наиболее долговечные гидроизоляционные материалы.
4. Что такое мастики?
5. Из чего делают пленочные полимерные материалы и их свойства.

Дополнительная литература

1. *Рыбьев И.А.* и др. Технология гидроизоляционных материалов. - М., 1991.

2. *Бородин В.Н.* Производство рулонных битумных материалов. - М., 1987.

3. *Кисина А.М., Куценко В.И.* Полимербитумные кровельные и гидроизоляционные материалы. - Л., 1983.

4. *Хрулев В.М.* Гидроизоляционные и герметизирующие материалы. - Новосибирск, 1985.

5. *Микульский В.Г.* и др. Современные кровельные материалы. /Под ред. К.Н.Попова. М.: МГСУ, 1998.

Глава XVI. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Теплоизоляционными называют материалы, имеющие теплопроводность не более 0,175 Вт/(м·°С) при 20°С и предназначены для тепловой изоляции зданий, технологического оборудования, трубопроводов, тепловых и холодильных промышленных установок. Применение таких материалов в конструкциях позволяет весьма существенно экономить тепловую энергию, дефицитность и стоимость которой растет. Считается, что 1 м^3 эффективных теплоизоляционных материалов экономит 1,45 т у.т. (условного топлива).

Тепловые агрегаты при их изоляции сокращают потери на 20-30%. Изоляция холодильных установок еще более значима, т.к. стоимость получения единицы холода примерно в 20 раз дороже соответствующей единицы тепла. Нормативные требования к энергозащите вновь строящихся и эксплуатируемых зданий значительно повышены. Только высокоэффективные материалы (ρ_m = 200 кг/м^3, λ = 0,06 Вт/(м°С), энергоемкость конструкций из которых не превышает 10-15 кг у.т. на 1 м^2, способны в течение 5-15 лет сэкономить энергозатраты на их производство и в дальнейшем приносить чистую прибыль (например, пенопласты, волокнистые материалы, суперволокно и т.д.). Пустотелый кирпич окупит энергию на его производство через 50 лет (а кирпичная кладка при термическом сопротивлении 3,5 м^2 ^{0}С/Вт - через 250-300 лет).

Особенно важны теплосбережения в северных районах, где в настоящем и особенно будущем усиленно будет развиваться добывающая и перерабатывающая промышленность, а, следовательно, и гражданское строительство.

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируются по виду *основного исходного сырья* (неорганическое, органическое); *структуре* (волокнистая, ячеистая, зернистая, сыпучие); *форме* - рыхлые (вата, перлит), плоские (плиты, маты, войлок), фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.), шнуровые (шнуры, жгуты); *содержанию связующего вещества* (содержащие и не содержащие); *возгораемости* (горючести) - несгораемые, трудносгораемые, сгораемые.

§ 2. Строение и свойства

Процесс переноса теплоты через строительные материалы под действием градиентов температуры называется теплопроводностью λ, Вт/(м°С):

$$\lambda = \frac{\delta}{R}, \qquad (16.1)$$

где δ - толщина материала, м; R - термическое сопротивление, м^2°С/Вт, определено через λ.

Расчетную теплопроводность определяют по приложению к СНиП "Строительная теплотехника" или экспериментально при помощи различных приборов. Зная λ и δ материала можно определить термическое сопротивление ограждающей конструкции и сопоставить его с требуемым.

Теплопроводность связана с коэффициентом температуропроводности α, теплоемкостью c и плотностью материала ρ_m

$$\lambda = \alpha\, c\, \rho_m\,. \qquad (16.2)$$

Числовые значения коэффициента температуропроводности α и теплоемкости c для материалов строительных конструкций можно условно для наиболее распространенных считать постоянными. Отсюда следует, что $\lambda = f(\rho_m)$. Эта зависимость значительно упрощает маркировку теплоизоляционных материалов, которую можно проводить по их плотности с достаточной для практики точностью (рис. 16.1). Марки теплоизоляционных материалов (кг/м^3): D15, D25, D35, D50, D100, D125, D150, D175, D200, D250, D300, D350, D400, D500.

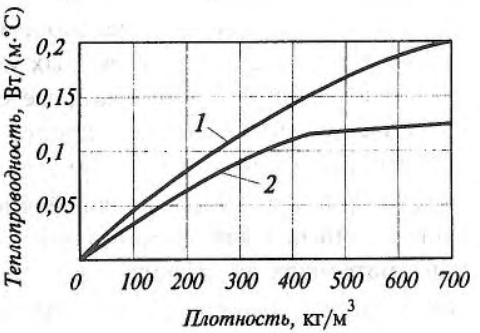


Рис. 16.1. Зависимость теплопроводности теплоизоляционных материалов от плотности:
1 - неорганические материалы;
2 - органические материалы

В практике используют следующие основные способы создания высокопористого строения материала. Для получения материалов ячеистого строения (ячеистые бетоны, пеностекло, пористые пластмассы) используют способы *газовыделения* и *пенообразования*.

Способ высокого *водозатворения* состоит в применении большого количества воды при получении формовочных масс (например, из трепела, диатомита); последующее испарение воды при сушке и обжиге формовочных изделий способствует образованию воздушных пор. Этот способ часто сочетается с введением *выгорающих добавок* (углесодержащих техногенных отходов, древесных опилок и др.).

Создание волокнистого каркаса - основной способ образования пористости у волокнистых материалов (минеральная вата, древесноволокнистые плиты и т.п.). Высокопористое строение закрепляется главным образом путем тепловой обработки изделий.

Тепловой поток через пористые многокомпонентные строительные материалы представляет собой сумму кондукционного λ_T, конвекционного λ_K и радиационного λ_P потоков. Для описания процессов теплопереноса через строительные материалы нельзя использовать термин теплопроводность, относящийся только к кондукционному переносу тепла. Зависимость $\lambda_Э = \lambda_T + \lambda_K + \lambda_P$ характеризует составные части или компоненты эффективной (общей) теплопроводности.

Целесообразно для комплексного ресурсосбережения изготовлять теплоизоляционные изделия с технологическими пустотами, в которых создаются воздушные прослойки. Чем тоньше прослойки воздуха и чем их больше, тем меньше теплопроводность изделия (рис 16.2).

Стремление к *замкнутой* пористости отличает структуру теплоизоляционных материалов от структуры звукопоглощающих, которые должны иметь определенное *количество "сквозных" пор*. Это принципиальное отличие необходимо иметь в виду, так как часто для производства теплоизоляционных и звукопоглощающих изделий используются одни и те же исходные материалы.

Известно, что теплопроводность материала является функцией теплопроводности скелета материала $\lambda_{СК}$, теплопроводности воздушной среды λ_B и влаги λ_W, находящейся в поровом пространстве. Существенно понизить теплопроводность скелета можно путем использования материала аморфного строения, так как оно значительно хуже проводит тепловой поток, чем материал кристаллического строения.

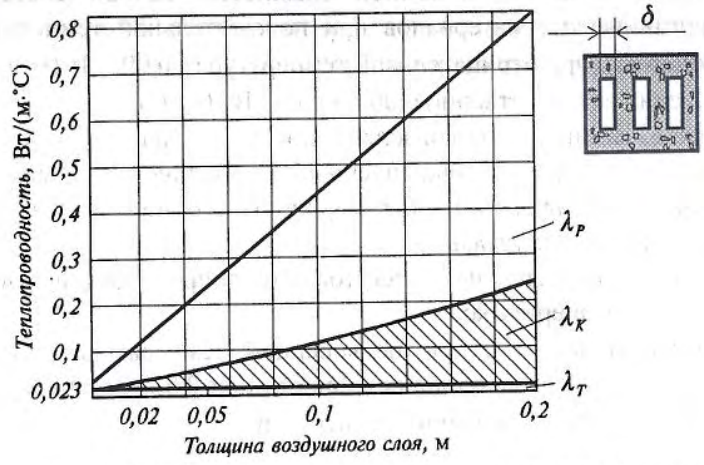


Рис. 16.2. Зависимость теплопроводности от толщины воздушных прослоек

Минимальную теплопроводность имеет сухой воздух, заключенный в мелких замкнутых порах, в которых практически не возможен конвективный теплообмен. В этом случае теплопроводность воздуха минимальна и составляет 0,023 Вт/(м·°С). Следовательно, структура теплоизоляционного материала и изделия должна иметь скелет аморфного строения предельно насыщенный мелкими замкнутыми порами или тонкими воздушными слоями.

Для теплопроводности имеет огромное значение *влажность материала* и его сорбционный потенциал, так как теплопроводность воды λ_W = 0,58 Вт/(м·°С), что в 25 раз выше, чем теплопроводность воздуха, содержащегося в мелких замкнутых порах материала.

В случае замерзания воды в порах теплопроводность льда составит 2,32 Вт/(м·°С), что на два порядка выше значения теплопроводности сухого воздуха и в 4 раза больше теплопроводности воды.

В определенных пределах теплопроводность повышается прямо пропорционально возрастанию объемной влажности W_0 (%), что позволяет вычислить теплопроводность влажного материала λ_W по следующей формуле:

$$\lambda_W = \lambda_C + \delta W_0, \qquad (16.3)$$

где λ_C - теплопроводность сухого материала; δ - приращение теплопроводности на 1% объемной влажности, которое составляет: для неорганических материалов при положительной температуре - 0,002 Вт/(м·°С), при отрицательной температуре - 0,004 Вт/(м·°С); для органических соответственно 0,003 и 0,004 Вт/(м·°С).

Принято защищать теплоизоляционные материалы и изделия от увлажнения. Материал, прикрепленный к изоляционному материалу в изделии и закрывающий его поверхность с одной, двух или всех сторон, называется *покровным.*

Теплоизоляция тепловых агрегатов и теплопроводов работает при повышенных температурах.

Теплопроводность λ_t при повышенной температуре материала можно вычислить, зная теплопроводность при 0°С и температурную поправку β на 1 °С повышения температуры:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1+\beta t). \qquad (16.4)$$

У различных пористых материалов теплопроводность возрастает при повышении температуры с разной скоростью, поэтому и температурный коэффициент β будет различный. Расчетные значения теплопроводности материала принимают по СНиП "Строительная теплотехника".

У некоторых материалов (магнезиальных огнеупоров, металлов) теплопроводность уменьшается при повышении температуры и, следовательно, температурная поправка имеет отрицательный знак.

Плотность волокнистого материала - отношение массы сухого материала к его объему, определенному при заданной нагрузке.

Прочность на сжатие определяется при 10% деформации, это величина напряжения, вызывающего изменение толщины изделия на 10%. **Сжимаемость** - способность материала изменять толщину под действием заданного давления. Материалы по сжимаемости: мягкие М - деформация свыше 30%; полужесткие ПЖ - деформация 6-30%; жесткие Ж - деформация не более 6%. Сжимаемость характеризуют относительной деформацией материала при сжатии под действием удельной нагрузки 0,002 МПа.

Прочность теплоизоляционных материалов при сжатии сравнительно невелика - 0,2-2,5 МПа. Основной прочностной характеристикой волокнистых материалов (плит, скорлуп, сегментов) является предел прочности при изгибе. У неорганических материалов

он составляет 0,15-0,5 МПа; у древесных плит - 0,4-2 МПа. Гибкие теплоизоляционные материалы (минераловатные маты, войлок, асбестовый картон) испытывают на растяжение. Прочность материала должна быть такова, чтобы обеспечивалась его сохранность при перевозке, складировании, монтаже и, конечно, в эксплуатационных условиях.

Водопоглощение не только ухудшает теплоизоляционные свойства пористого материала, но также понижает его прочность и долговечность. Материалы с закрытыми порами, например, пеностекло, отличаются небольшим водопоглощением. Для снижения водопоглощения при изготовлении материалов вводятся гидрофобизующие добавки.

Газо- и паропроницаемость учитывают при применении в ограждающих конструкциях. Теплоизоляция не препятствует воздухообмену жилых помещений с окружающей средой, происходящему через наружные стены зданий. Теплоизоляцию стен влажных производственных помещений защищают от увлажнения с помощью надежной гидроизоляции, устраиваемой с "теплой" стороны.

Огнестойкость связана со сгораемостью материала, т.е. его способностью воспламеняться и гореть. Сгораемые материалы можно применять только при осуществлении мероприятий по защите от возгорания.

Возгораемость материалов определяется при воздействии температуры 800-850°С и выдержке в течение 20 мин.

Предельная температура применения не должна изменять эксплуатационные свойства материала.

Химическая и биологическая стойкость. Большая пористость теплоизоляционных материалов благоприятствует проникновению в них агрессивных газов и паров, находящихся в окружающей среде. Органические теплоизоляционные материалы и связующие (клей, крахмал) должны обладать биологической стойкостью, т.е. сопротивляться действию микроорганизмов, домовых грибов, насекомых (муравьев, термитов).

§ 3. Неорганические теплоизоляционные материалы

Минеральная вата - волокнистый бесформенный материал - состоит из тонких стекловидных волокон диаметром 5-15 мкм, получаемых из расплава легкоплавких горных пород (мергелей, доломитов и др.), металлургических и топливных шлаков и их смеси. Рас-

плав обычно получают в вагранке. Волокна образуются при воздействии подаваемого под давлением пара или воздуха на непрерывно вытекающую из вагранки струю расплава, либо путем подачи расплава на валки или фильтры, или диск центрифуги. Полученное минеральное волокно собирается в камере волокно-осаждения на непрерывно движущейся сетке. В эту камеру вводят органические и минеральные связующие вещества.

Минераловатные твердые плиты, имеющие повышенную жесткость, изготовляют на синтетическом связующем (фенолоспирте, растворе или дисперсии карбамидного полимера и др.). Ранее принятая технология предусматривает изготовление твердых плит из гидромассы (т.е. "мокрым" способом), состоящей из минерального волокна, раствора полимера, пенообразователя. Плиты из массы жидкотекучей консистенции формуют в вакуум-прессах и подвергают тепловой обработке при 150-180°С. Получают плиты плотностью 180-200 кг/м^3, теплопроводностью 0,047 Вт/(м·°С), толщиной 30-70 мм.

Существенно важным для свойств изделий является ориентация волокон. Наиболее прогрессивная технология формования твердых минераловатных плит с *вертикальной ориентацией* волокон осуществляется на 10 и 17-этажных прессах. Там же происходит тепловая обработка изделий. Прочность на сжатие минераловатных изделий возрастает с ростом количества вертикально ориентированных волокон. Прочность на сжатие при 10%-ной деформации в 100 кПа может быть достигнута для минераловатных плит плотностью 150-160 кг/м^3 при содержании вертикально ориентированных волокон около 65%; для плит плотностью 180-190 кг/м^3 - около 55%.

Минераловатные изделия с гофрированной структурой, содержащие до 30% ориентированных в вертикальном направлении волокон, имеют плотность 140-200 кг/м^3. По сравнению с плитами с горизонтальной ориентацией волокон гофрированные плиты отличаются меньшей деформативностью и повышенной в 1,7-2,5 раза прочностью.

При утеплении бесчердачных кровель твердыми минераловатными плитами гидроизоляционный слой устраивают, наклеивая рулонный гидроизоляционный материал непосредственно на сами плиты. При жестких плитах не требуется устройство стяжки между плитой и гидроизоляцией. Возможно применение самонесущих плит.

Минераловатные жесткие плиты и фасонные изделия (скорлупы, сегменты) выпускают с синтетическим, битумным и неорганическим связующим (цементом, глиной, жидким стеклом и др.). Для повышения прочности и снижения количества связующего в состав изделий вводят коротковолокнистый асбест. Плиты толщиной 40-100 мм выпускают плотностью 100-400 кг/м^3 и теплопроводностью 0,051-0,135 Вт/(м·°С).

Минераловатные полужесткие и мягкие плиты изготовляют с синтетическим, битумным и крахмальным связующим. Изделия (плиты, цилиндры, сегменты, маты) с синтетическим связующим имеют меньшую плотность, более прочны и привлекательны на вид по сравнению с изделиями на битумном связующем.

Плотность плит - 35-250 кг/м^3, теплопроводность - 0,041-0,07 Вт/(м·°С). Основные показатели технологического уровня качества приведено в табл. 16.1.

Прошивные маты - это гибкие изделия из слоя прошитого волокнистого материала. Последнее время используются вертикально-слоистые гибкие маты, состоящие из приклеенных к покровному материалу полос волокнистых плит при преимущественно перпендикулярном расположении волокон. Гибкие изделия, состоящие из слоя волокнистого материала со связующим веществом, называются *войлоком*.

Минераловатные маты в рулонах выпускают следующих видов: с синтетическим связующим (ρ_m = 35-75 кг/м^3), прошивные с металлическими, тканевыми, бумажными обкладками, с обкладкой из стеклохолста (ρ_m = 100-200 кг/м^3); из штапельного стекловолокна (ρ_m = 25-50 кг/м^3); из непрерывного стекловолокна ρ_m = 80-120 кг/м^3); в виде холста из базальтового волокна (ρ_m = 15-20 кг/м^3).

Базальтовое волокно выдерживает температуру до 1000°С как и основная порода (стекловолокно только 650 и 550°С). Базальтовая вата применяется в виде огнестойких матов, лент и плит, поставляемых в рулонах, обладает стойкостью к коррозии. При плотности 130 кг/м^3 и температуре 0°С вата имеет теплопроводность 0,035 Вт/(м·°С).

Используются также **стеклянная вата и керамическая вата**, получаемая из алюмосиликатных расплавов с содержанием Al_2O_3 не менее 45%.

Таблица 16.1

Основные показатели технического уровня качества и эксплуатационных свойств минераловатных изделий в России и за рубежом
(по данным "Теплопроекта")

Вид продукции	Наименование показателей, единица измерения	Значения показателей		
		России	Фирма "Porok"	Фирма Rockwohl
Минеральная вата	Плотность, кг/м^3	75-90		
	Диаметр волокна, мкм	4,5-10	4-5	
	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,045--0,05	0,043-0,047	
Минераловатные плиты на синтетическом связующем	Плотность, кг/м^3	50-200	65-175	50-150
	Теплопроводность, Вт/(м·°С) при 25±5°С	0,047--0,056	0,045-0,054	0,044
	Сжимаемость, %		0,6-1,0	
	Прочность при сжатии для плит Д175, Д200, МПа	0,4-1,0	0,4-1,1	0,4-1,2
	Содержание связующего, %, Для Д75	3,0	-	-
	Д125	3,0-4,0	2,5	2,7
	Д175	5,0-7,0	5,1	-
	Д200	7,0-8,0	-	-

Керамические теплоизоляционные изделия изготовляют путем формования, сушки и обжига. По сравнению с другими теплоизоляционными материалами они имеют высокую прочность и температуростойкость до 900°С. В качестве сырья используют диатомит, трепел, огнеупорную глину, перлит. Большая пористость создается путем введения в формовочную массу пенообразователей, выгорающих добавок.

Для **тепловой изоляции горячих криволинейных поверхностей** (сегменты, скорлупы, теплоизоляция трубопроводов) теплопроводность должна быть до 0,06 Вт/(м·°С). Это необходимо потому, что бо'льшая толщина теплоизоляции, а следовательно, большая кривизна ее поверхности приводит к увеличению теплопотерь.

Неорганические жесткие изделия - диатомитовые, ячеистокерамические, перлитокерамические - имеют температуростойкость 900°С.

Теплоизоляционные легкие бетоны (слитного строения и крупнопористые) готовят из пористого заполнителя - вспученного перлита, легкого керамзита или вермикулита и минерального (реже органического) вяжущего. Перлитовые изделия включают перлитовый обжиговый заполнитель - легковес, перлито-битумные и битумно-перлитные изделия, перлитопластбетон, перлитофосфатные изделия, поризованный перлитосиликат, их плотность 150-300 кг/м^3.

Вулканитовые изделия изготовляют из смеси молотого диатомита или трепела (окало 60%), воздушной извести (20%) и асбеста (20%). Отформованные изделия подвергают автоклавной обработке, которая ускоряет химическое взаимодействие между кремнеземистым компонентом и воздушной известью, приводящее к образованию гидросиликатов кальция.

Совелит является у нас наиболее распространенным асбестомагнезиальным материалом. Сырьем для производства совелита служат доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) и асбест (в количестве 15%). Доломит подвергают сложной переработке, которая включает обжиг, гашение обоженного доломита, карбонизацию полученного доломитового молока с использованием газов, содержащих CO_2. Конечным продуктом химической переработки доломита является четырехводный осно'вный карбонат магния $MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$, который вместе с осажденным $CaCO_3$ составляет основу совелита. Сушка и прокаливание имеют целью декарбонизацию магнезиальной составляющей. Благодаря прокаливанию снижается плотность и теплопроводность, а температуростойкость повышается. Совелит применяют для изоляции промышленного оборудования при температурах до 500^{0}С.

Теплоизоляционные цементные ячеистые (газо- и пено-) бетоны получают плотностью 100-500 кг/м^3. Эти бетоны имеют низкую теплопроводность, достаточную марку по прочности, низкое водопоглощение, морозостойки, обладают хорошей гвоздимостью, повышенной огнестойкостью. Бетонная смесь высокопластична, заполняет форму для утепления наружных ограждений в виде комбинированных плит или монолита, изоляции трубопроводов и других конструкций.

Ячеистое стекло (пеностекло) вырабатывают из стекольного боя, либо используют те же сырьевые материалы, что и для производства других видов стекла: кварцевый песок, известняк, соду и сульфат натрия. Могут использоваться горные породы: трахиты, сиениты, нефе-

лины, обсидианы. При спекании порошка стекольного боя с газообразователями - коксом и известняком - выделяется углекислый газ, образующий поры. Газообразующими добавками могут служить также мел или карбиды кальция и кремния. При выходе из печи от непрерывно двигающегося бруса отрезаются блоки определенной длины, направляемые в печь отжига. Благодаря этому предотвращается возникновение внутренних напряжений, вызывающих растрескивание. Ячеистое стекло имеет в материале стенок крупных пор мельчайшие микропоры, обуславливающие малую теплопроводность при достаточно высокой прочности, водостойкости и морозостойкости. Ячеистое стекло - несгораемый материал с высокой температуростойкостью - 400^{0}С, для бесщелочного - до 600°С; хорошо обрабатывается. Применяют для теплоизоляции тепловых сетей при их подземной бесканальной прокладке, для теплоизоляции стен, перекрытий, кровель, в конструкциях холодильников.

Стеклопор получают путем грануляции и вспучивания жидкого стекла с минеральными добавками (мелом, молотым песком, золой ТЭС и др.). Технологический процесс включает производство гранулята - "стеклобисера" и его низкотемпературное (при 320-360°С) вспучивание. Стеклопор выпускают трех марок: "СЛ" с ρ_m = 15-40 кг/м^3, λ = 0,028-0,035 Вт/(м·°С); "Л" с ρ_m = 40-80 кг/м^3; λ = 0,032-0,04 Вт/(м·°С); "Т" с ρ_m = 80-120 кг/м^3; λ = 0,038-0,05 Вт/(м·°С). В сочетании с различными связующими стеклопор используют для изготовления штучной, мастичной и заливочной теплоизоляции. Наиболее эффективно применение стеклопора в наполненных пенопластах, так как введение его в пенопласт позволяет снизить расход полимера и значительно повысить огнестойкость теплоизоляционных изделий.

Монтажные асбестовые материалы выпускают в виде листов и рулонов из асбестового волокна; иногда вводят наполнитель и небольшое количество склеивающих веществ (крахмала, казеина и др.), получая асбестовую бумагу, картон, шнур. Алюминиевую фольгу применяют в качестве отражателей изоляции в воздушных прослойках слоистых ограждающих конструкций зданий и для теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температурах до 300°С.

Неорганические рыхлые материалы для мастичной теплоизоляции изготовляют из смеси волокнистых материалов (асбеста, минерального волокна) с неорганическими вяжущими, затворяемыми водой. Их применяют для изоляции промышленного оборудования и трубопроводов с учетом температуры у границ теплоизоляционного слоя.

Минераловатную смесь приготовляют из минеральной ваты, асбеста, тонкодисперсной глины и портландцемента. Плотность изоляции в сухом состоянии - 400 кг/м^3, теплопроводность - не более 0,28 Вт/(м·°С).

Асбестодиатомитовый порошок представляет собой смесь асбеста (15%), молотого диатомита и трепела (85%) иногда с добавками других веществ (отходов асбоцементных заводов, слюды). Плотность теплоизоляции - 400-600 кг/м^3, теплопроводность - 0,093-0,21 Вт/(м·°С).

Совелитовый порошок - это смесь легкого основного углекислого кальция с асбестом, применяемая при температурах до 500°С. Готовая совелитовая теплоизоляция имеет плотность 450 кг/м^3 и теплопроводность - не более 0,098 Вт/(м·°С).

Асбестомагнезиальный порошок (ньювель) готовят в виде смеси легкого основного углекислого кальция с асбестом и применяют при температурах до 500°С.

Зернистые материалы применяют для теплоизоляционных засыпок. При температурах до 900°С применяют: вспученный перлит в виде пористого песка с плотностью 50-100 кг/м^3 и теплопроводностью 0,04-0,05 Вт/(м·°С); вспученный вермикулит в виде смеси пластинчатых зерен крупностью не более 15 мм, плотностью 100-120 кг/м^3 и теплопроводностью около 0,075 Вт/(м·°С): измельченные диатомиты и трепелы с крупностью до 5 мм, плотностью 400-700 кг/м^3 и теплопроводностью 0,11-0,18 Вт/(м·°С).

При температурах до 450-600°С применяют гранулированную и стеклянную вату, дробленую пемзу и вулканический туф, топливные шлаки, получаемые при сжигании кускового топлива, топливные золы от сжигания пылевидного топлива, доменные гранулированные шлаки.

4. Органические теплоизоляционные материалы

Фибролит - плитный материал из древесной шерсти и неорганического вяжущего вещества. Древесную шерсть (стружку длиной 200-500, шириной 2-5 и толщиной 0,3-0,5 мм) получают на специальных станках, используя короткие бревна ели, липы, осины или сосны.

Вяжущим чаще всего служит портландцемент и раствор минерализатора - хлористого кальция. Формы с массой последовательно проходят камеру начеса, прессовочный вал, пост разделки на плиты, камеру твердения и сушки. Влажность цементно-фибролитовых плит ограничивается. Плиты выпускают плотностью 300-500 кг/м^3, теплопроводностью 0,1-0,15 Вт/(м·°С), с пределом прочности при изгибе 0,4-1,2 МПа. Толщина плит - 25, 50,75,100 мм.

Плиты применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций, для устройства перегородок, каркасных стен и перекрытий в сухих условиях. Фибролит хорошо обрабатывается - его можно пилить, сверлить, в него можно вбивать гвозди.

Арболитовые изделия изготовляют из портландцемента и органического коротковолокнистого сырья (древесных опилок, дробленой станочной стружки или щепы, сечки соломы или камыша, костры и др.), обработанного раствором минерализатора. Химическими добавками служат: хлористый кальций, растворимое стекло, сернокислый глинозем. Применяют теплоизоляционный арболит плотностью до 500 кг/м^3 и конструкционно-теплоизоляционный плотностью до 700 кг/м^3. Прочность арболита при сжатии - 0,5-3,5 МПа, растяжение при изгибе - 0,4-1,0 МПа; теплопроводность - 0,08-0,12 Вт/(м·°С).

Древесностружечные плиты изготовляют путем горячего прессования массы, содержащей около 90% органического волокнистого сырья (чаще всего применяют специально приготовленную древесную шерсть) и 7-9% синтетических смол (фенолоформальдегидных и др.). Для улучшения свойств плит в сырьевую массу добавляют гидрофобизующие вещества, антисептики и антипирены.

Древесноволокнистые изоляционные плиты производят из неделовой древесины, используют отходы лесопиления и деревообработки, а также бумажную макулатуру, солому, стебли кукурузы. Плотность - до 250 кг/м^3, теплопроводность - до 0,07 Вт/(м·°С).

На основе растительного сырья готовят ряд местных материалов: камышит, соломит, торфяные изоляционные плиты и др.

Одним из перспективнейших современных теплоизоляционных материалов является использование вторичного сырья из бытовых отходов (бумаги и картона). Полученная эковата является идеальным заменителем традиционных утеплителей: минеральной ваты, стекловаты и т.д. Среднее значение теплопроводности составляет 0,041 Вт/(м°С). Эковата трудно сгораема, что обусловлено добавками антипиренов, биостойка, обладает звукопоглощающими свойствами.

Сотопласты изготовляют путем склейки гофрированных листов бумаги, стеклянной или хлопчатобумажной ткани, пропитанных полимером. Они служат эффективным утеплителем в трехслойных панелях. Теплоизоляционные свойства сотопласта повышаются при заполнении ячеек крошкой из мипоры.

Ячеистые пластмассы подразделяются в зависимости от характера пор на пенопласты и поропласты. *Пенопласты* имеют преимущественно закрытые поры в виде ячеек, разделенных тонкими перегородками. К *поропластам* относятся ячеистые пластмассы с сообщающимися порами. Имеются материалы со смешанной структурой.

В ячеистых пластмассах поры занимают 90-98% объема материала, а на стенки приходятся всего лишь 2-10%, поэтому ячеистые пластмассы очень легки и малотеплопроводны (теплопроводность 0,026-0,058 Вт/(м·°С)). В то же время они водостойки, не загнивают; жесткие пено- и поропласты достаточно прочны, гибки и эластичны. Особенностью теплоизоляционных пластмасс является ограниченная температуростойкость. Большинство из них горючи, поэтому необходимо предусматривать конструктивные меры защиты пористых пластмасс от непосредственного действия огня.

Ячеистые пластмассы в виде плит и скорлуп применяют для утепления стен и покрытий, теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температурах до 60°С.

Теплоизоляционный слой пенопласта толщиной 5-6 см, имеющий массу около 2-3 кг/м^3, - эквивалент слою 14-16 см из минеральной ваты или ячеистого бетона. Поэтому масса 1 м^2 трехслойной панели, утепленной ячеистой пластмассой, снижается на 20-50 кг.

Пористые пластмассы можно пилить, резать обычными способами, а также проволокой, нагреваемой электрическим током. Они хорошо склеиваются с бетоном, асбоцементом, металлом, древесиной. Это значительно упрощает изготовление крупных панелей ограждающих конструкций.

Пенополиуретан получают в результате химических реакций, протекающих при смешении исходных компонентов (полиэфира, диизоцианита, воды, катализаторов и эмульгаторов). Изготовляют жесткий и эластичный полиуретан. Плотность 25-45 кг/м^3, прочность при 10% сжатии - 0,3-0,7 МПа.

Жесткий полиуретан используется в широком интервале температур, отличается легкостью и экономичностью обработки, высокой механической прочностью, устойчивостью к износу и химической и биологической стойкостью. Характеризуется самой низкой теплопроводностью по сравнению с другими изоляционными материалами, теплопроводность при температуре 10°С ниже 0,019 Вт/(м°С). Может быть использован при температуре от -50°С до +110°С. Нулевая капиллярность. Объемное водопоглощение 0,2%.

Стойкость к действию грибков и микроорганизмов делает его не гниющим и не разлагающимся. Жесткий пенополиуретан применяют в виде плит и скорлуп. Эластичный пенополиуретан служит для герметизации стыков панелей. Разработаны рецептуры заливочных композиций, которые могут вспениваться даже на холоде. Материал «самозатухающий» по огнестойкости.

Пенополистирол - легкий пластик, изготовляемый из полистирола с порообразователем. Пенополистирол - легкий, имеет плотность до 25 кг/м^3, стоек к истиранию, водопоглощение - доли %, трудно воспламеняется. Недостатком материала является усадка, которую можно уменьшить путем выдерживания материала до применения и использования гибких и эластичных материалов типа битумно-эластомерного наплавляемого полотна в качестве гидроизоляционного слоя. Применяется в трехслойных стеновых панелях на гибких связях совместно с жесткими минераловатными плитами, при теплоизоляции стен и кровель.

Пенополиуретан и пенополистирол выпускают как высокоэффективные теплоизоляционные материалы, а в сочетании с упаковкой в усадочную пленку под давлением или другими приемами как *новые гидротеплоизоляционные материалы.*

Пенополивинилхлорид выпускают жесткий и эластичный. Жесткий пенополивинилхлорид - теплоизоляционный материал, незначительно изменяющий свои свойства при изменении температуры от +60°С до -60°С. Он менее горюч по сравнению с пенополистиролом.

Мипору изготовляют путем вспенивания мочевино-формальдегидной смолы, отвердения отлитых из пеномассы блоков и их последующей сушки. Мипора наиболее легкий (10-20 кг/м^3) и наименее теплопроводный из всех теплоизоляционных материалов - λ = 0,026-0,03 Вт/(м·°С).

Пенопласты на основе *феноло-формальдегидных полимеров* выпускают на основе чистого полимера (ФФ) с введением в него стеклянного волокна (ФС) или каучука (ФК), а также каучука и газообразователя в виде алюминиевой пудры (ФК-А).

Пенопласты получают по беспрессовому методу из готовой смеси компонентов путем вспенивания смеси при нагреве и последующего охлаждения. Регулируя рецептуру исходной смеси и технологические условия, можно получить пенопласты с каучуком, выдерживающие длительное время действие высоких температур (200-250°С). Эти полимеры устойчивы к влиянию вибрации.

§ 5. Применение теплоизоляционных изделий

Теплоизоляция промышленного оборудования и трубопроводов. Изоляционные конструкции из жестких изделий - плит, скорлуп, сегментов могут выполняться из одного материала или из двух разных материалов, укладываемых послойно. В верхнем слое могут применяться менее температуростойкие материалы. Производят двухслойные изделия, сочетающие огнеупорный и теплоизоляционный слои.

Оберточные изоляционные конструкции применяют в тех случаях, когда трубы подвержены вибрации или частым сотрясениям. Используют асбестовую бумагу и картон, различные виды шнура (асбестовый, стекловатный, минераловатный) и жгуты.

Мастичные конструкции выполняют путем нанесения на изолируемую поверхность теплоизоляционного материала в пластичном состоянии в виде мастики. Мастику готовят на месте работ путем затворения порошкообразного материала водой до рабочей густоты, наносят послойно вручную. Поэтому работы по мастичной изоляции трудоемки и продолжаются в 2-4 раза дольше монтажа изоляции из готовых изделий.

Бесканальная прокладка может выполняться с применением гидрозащитной оболочки трубопровода и без нее. Взамен гидрозащитной оболочки теплопровод окружен пористым слоем, который образуется путем его обсыпки гравием (с размером зерен 3-15 мм) или обкладки скорлупами (сегментами) из крупнопористого бетона.

Теплоизоляция труб в теплосетях может свести потери тепла к 1 - 2%. По современным требованиям теплопроводность теплоизолирующего материала в теплосетях для этого не может превышать 0,06 Вт/(м°С). Материал должен быть долговечен, стоек к действию грунтовых вод, химической и биологической агрессии, не разрушаться под воздействием низких температур и механических нагрузок, пожаро- и экологически безопасен. Этим требованиям на стальных и пластмассовых трубах отвечает пенополиуретановая оболочка. Вспененная оболочка из полиуретана заполняет промежуток между трубой и наружным покрытием из полиуретана. В результате высоких адгезионных свойств материала образуется одно герметичное целое между всеми связуемыми элементами. В местах стыковки труб устанавливается накладка из жесткого полиуретана с гидроизоляцией.

Сегодня уже технически устарели различные виды теплоизоляции (минеральной ватой, армопенобетоном и др.), так как они имеют скорость коррозии труб в 20-40 раз большую, чем у труб, изолированных пенополиуретаном. Долговечность последних имеет не менее 30 лет.

Теплоизоляция ограждающих конструкций зданий. Навесные панели стен выполняют в основном трехслойными. Некоторые типы слоистых панелей представлены на рис. 16.3. Наибольшее снижение массы 1 м^2 панели достигается при использовании в качестве утеплителя пористых пластмасс, являющихся эффективной теплоизоляцией.

Новым направлением обеспечения надежной тепловой защиты зданий является применение *наружных прозрачных теплоизоляционных материалов*, которые позволяют обогревать находящиеся за ними помещения, утилизируя солнечную энергию. Суть явления заключается в том, что максимум солнечной радиации, приходящейся на холодный период года, поступает на поверхность ограждения электромагнитным излучением, поглощается им и преобразуется в тепловую энергию. Температура поверхности повышается. При этом массив конструкции ограждения является как бы тепловым аккумулятором, перераспределяющим тепловой поток в помещении и способствующим равномерности его обогрева. Прозрачные теплоизоляционные материалы можно изготавливать в виде капиллярной структуры из поликарбонатной пленки толщиной 0,1 мм с диаметром капилляров 0,8 мм или в виде сотовой структуры, также возможно изготовить воздушные пузырьки в оболочке пленки, спаянные между собой (аэрогель). Изыскиваются различные приемы для сохранения тепла в помещениях. Шведская фирма предлагает наклеивать специальную полимерную пленку на внутреннюю поверхность стены

позади отопительного радиатора. Это повышает температуру в помещении на 1-2°С.

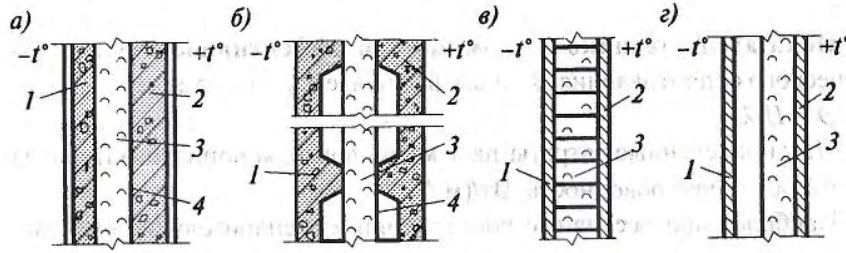


Рис. 16.3. Типы трехслойных панелей наружных стен:
а) облицовка из плоских железобетонных плит; *б)* то же, из ребристых железобетонных плит; *в)* облицовка из конструктивно-отделочных листовых материалов (алюминия, асбестоцемента, стеклопластика); *г)* то же, с воздушным промежутком; *1* - наружная облицовка; *2* - внутренняя облицовка; *3* - утеплитель; *4* - пароизоляция

Теплоизоляционные материалы широко применяют для утепления покрытий зданий (рис. 16.4). Рациональная эксплуатация ограждений возможна, если более проницаемые и малотеплопроводные материалы будут находиться с наружной стороны. Таким образом наружные стены или кровли должны работать как бы "в перевернутом" состоянии. Такие конструкции успешно эксплуатируются в Европе в течение многих лет благодаря пенопластовым **теплогидроизоляционным материалам**. Для повышения теплотехнических свойств уже существующих стен с внешней стороны наклеивают плиты утеплителя с дополнительной гидроизоляционной защитой. В нашей стране использование таких приемов имеет определенные трудности в связи с более суровым климатом.

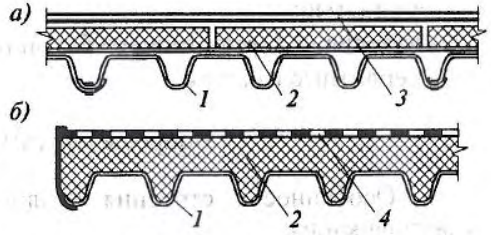


Рис.16.4. Ограждающие конструкции покрытий промышленных зданий:
а) утепленный профилированный лист; *б)* "монопанель"; *1* - металлический профилированный настил; *2* - утеплитель; *3* - рубероидный ковер на битумной мастике в три слоя; *4* - слой пленочной полимерной гидроизоляции

Имеется несколько высокоэффективных теплоизолирующих композиций на основе полиуретанов: УКУТ-1, УКУТ-2 и др., предназначенных для теплозащиты ограждающих конструкций, трубо-

проводов и т.п. В этих материалах интенсивное отверждение совпадает с увеличением объема, создавая мелкопористый жесткий пенопласт.

Показатель технико-экономической эффективности теплотехнического сопротивления Э (руб.), вычисляется по формуле

$$Э = П \cdot \lambda, \qquad (16.5)$$

где $П$ - приведенные затраты на 1 м^3 теплоизоляционного материала (руб.); λ - теплопроводность, Вт/(м·°С).

Наиболее прогрессивные конструкции из теплоизоляционных материалов:

- полимерные материалы, отличающиеся пониженной плотностью 25-45 кг/м^3;
- минераловатные плиты повышенной жесткости, позволяющие вести устройство гидроизоляционного ковра на покрытиях без подстилающих стяжек;
- минераловатные и стекловолокнистые изделия с облицовочной поверхностью;
- изделия из термостойкого базальтового волокна;
- перлитные изделия.

Вопросы для самоконтроля

1. Особенности строения теплоизоляционных материалов, их классификация.
2. Технико-экономическое значение теплоизоляционных материалов при применении в ограждающих строительных конструкциях.
3. Важнейшие материалы для тепловой изоляции строительных конструкций.
4. Важнейшие материалы для изоляции горячих поверхностей.
5. Минеральная вата и минераловатные изделия. Получение и области применения.
6. Какие полимерные связки применяют при получении минераловатных изделий и каковы преимущества этих связок перед битумными?
7. Какие наиболее эффективные современные теплоизоляционные материалы?

Дополнительная литература

1. *Горлов Ю.П.* Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высшая школа, 1989.
2. Тепловая изоляция. Справочник строителя. - М.: Стройиздат, 1985.

Глава XVII. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Звуки, вызываемые случайными причинами, не несущие полезной информации и мешающие тому или иному жизненному процессу, принято называть *шумами.* Они раздражают и угнетают нервную систему человека. Поэтому уменьшение вредного влияния шумов на здоровье человека становится одной из социальных проблем. Ухо человека воспринимает звуковые колебания частотой 16 Гц-20 кГц, особо чувствительными являются частоты 1500-3000 Гц.

Воздушный шум возникает и распространяется в воздушной среде. Звуковые волны воздействуют на ограждающие конструкции, приводят их в колебательное движение и тем самым передают звук в соседние помещения, отражаются и частично поглощаются ограждениями, а также проникают через них.

Ударный шум возникает и распространяется в ограждающих конструкциях при ударных, вибрационных и других воздействиях непосредственно на конструкцию.

СНиП нормируют допустимые уровни шума. Таким параметром является *уровень звукового давления*, т.е. избыточного давления, вызываемого распространением звуковой волны в воздухе. Звуковое давление измеряется в децибелах (дБ) на различных частотах. Предельные значения уровней шума: для производственных помещений с речевой связью 80-85 дБ, административных помещений 38-71 дБ, больниц 13-51 дБ.

Материалы и изделия характеризуются среднеарифметическим *коэффициентом звукопоглощения* в каждом из трех диапазонов частот (табл. 17.1).

Таблица 17.1

Классификация частот

Наименование диапазона частот	Обозначение диапазона частот	Среднеарифметические частоты, Гц
Низкочастотный	Н	63; 125; 250
Среднечастотный	С	500; 1000
Высокочастотный	В	2000; 4000; 8000;

По структурным показателям материалы и изделия имеют пористо-волокнистую (вата), пористо-ячеистую (ячеистый бетон, перлит), пористо-губчатую (пенопласт, резина) структуры.

По величине относительного сжатия они могут иметь твердый, жесткий, полужесткий и мягкий скелет. В полужестком и особенно мягком скелете происходит усиление звукопоглощения падающих звуковых волн за счет упругих деформаций скелета материала.

К материалам с жестким скелетом относятся различные виды легких бетонов, а также фибролит. Древесноволокнистые, минераловатные, стекловолокнистые и содержащие асбест материалы имеют полужесткий скелет. Мягким скелетом обладают полиуретановый поропласт, поливинилхлорид и другие виды ячеистых пластмасс.

Акустические материалы могут быть несгораемыми, трудносгораемыми и сгораемыми, должны быть влагостойкими, биостойкими, удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям и сохранять свои свойства в процессе длительной эксплуатации. Они могут быть штучными (блоки, плиты), рулонными (маты, полосовые прокладки, холсты), рыхлыми, сыпучими (вата, керамзит, песок, доменный шлак и др.).

Акустические материалы принято подразделять в зависимости от назначения, структуры и свойств на *звукопоглощающие*, *звукоизоляционные* или *прокладочные* и *вибропоглощающие*.

§ 2. Звукопоглощающие материалы

Звукопоглощающие материалы и изделия предназначаются для применения в звукопоглощающих конструкциях с целью снижения уровня звукового давления в помещениях производственных и общественных зданий.

Поток звуковой энергии при падении звуковых волн на поверхность ограждения частично отражается поверхностью ограждения, остальная звуковая энергия проходит через ограждение.

Звукопоглощение материалов оценивается *коэффициентом звукопоглощения* α. Коэффициент звукопоглощения есть отношение неотраженной энергии $E_{погл}$, поглощенной поверхностью, к падающей энергии $E_{пад}$ в единицу времени,

$$\alpha = E_{погл}/E_{пад}.$$

Поглощение звуковой энергии в однородном пористом материале происходит за счет энергетических потерь на вязкое трение, преодолеваемое воздушным потоком в порах материала, теплообмена между стенками пор и воздухом, релаксационных процессов в материале с неидеальной упругостью скелета.

Коэффициент звукопоглощения можно определить в камере или при помощи специального прибора - интерферометра. Коэффициент звукопоглощения зависит от частоты угла падения звука. Чем большую пористость имеет материал, чем больше развита поверхность пор и больше пор сообщается между собой, тем больше его звукопоглощение. Поэтому звукопоглощающие материалы должны обладать сравнительно большой открытой, сквозной пористостью преимущественно сообщающегося и разветвленного характера. Оптимальные размеры пор желательно иметь от 0,01 до 0,1 см. Звукопоглощение на низких частотах происходит в более крупных порах. Увеличение влажности материала резко снижает коэффициент звукопоглощения по всему диапазону частот.

Классификация звукопоглощающих материалов производится по **классам** в зависимости от величины коэффициента звукопоглощения в диапазонах частот: первый класс - свыше 0,8, второй -от 0,8 до 0,4 и третий класс - от 0,4 до 0,2 включительно.

Примером эффективных звукопоглощающих материалов являются минераловатные плиты на различных связующих, гипсовые и другие материалы.

Минераловатные акустические плиты готовят методом поливки с вакуумированием раствора различных связующих, например, состоящего из поливинилацетатной эмульсии и фенолоспиртов. Свежеотформованное изделие подвергают уплотнению под пригрузкой и термообработке. Затем производится механическая обработка с нанесением покровного декоративного слоя. Используются стекловатное волокно, а также другие виды волокон. Технологический процесс изделий на крахмальном связующем включает следующие операции, грануляцию минеральной ваты, приготовление связующего раствора и формовочной массы (перемешивание гранул со связкой), формование изделий, сушка, отделочные операции (шлифовка, калибровка, покраска).

Для изготовления применяют гранулированную минеральную и стеклянную вату и связующее, основным компонентом которого является крахмал, карбоксилметилцеллюлоза, бентонит, а также гидро-

фобизирующие и антисептирующие добавки. Взамен крахмального связующего (пищевой продукт) применяют тапиоковую муку.

Газобетонные плиты "Силакопор" и газосиликатные плиты выпускают обычно плотностью до 350 кг/м^3 в сухом состоянии. При этом прочность при сжатии составляет до 0,1 МПа.

Высокоэффективные звукопоглощающие материалы получают из вспученного перлита и вяжущего из жидкого стекла или синтетических смол плотностью 250-500 кг/м^3.

Промышленность выпускает гипсовые литые плиты с ребрами жесткости и сквозной перфорацией. Плиты армируются дробленым стекложгутом и поливинилхлоридным шнуром, стеклопором, перлитом. Внутри гипсового экрана приклеена креповая бумага, затем укладывается минераловатная плита, обернутая фольгой.

Эффективен двухслойный материал, наружным слоем которого является перфорированная плита из гипсокартонного листа, а внутренним, подстилающим слоем - нетканое полотно или фильтровальная бумага.

Влажность материала - не более 8%. На основе отходов целлюлозно-бумажного производства - спока и фосфогипса выпускается новый материал - "АКОР".

Звукопоглощение материалов зависит от их толщины, расположения по отношению к источнику звука и других факторов. Для усиления поглощения звуковой энергии материалы дополнительно перфорируют (до 30%). Размер и форма отверстий в изделиях, их наклон, глубина, а также процент перфорации, т.е. отношение площади, занимаемой отверстиями, к общей площади плиты, влияют на коэффициент звукопоглощения. При этом обычно перфорация плит увеличивает коэффициент звукопоглощения более чем на 10-12%.

Звукопоглощающие плиты можно располагать в конструкции с различным воздушным зазором - «на относе». Используют для звукопоглощения в конструкциях резонаторы, т.е. щиты или пластины, расположенные на некотором расстоянии от поверхности ограждения; кроме того, применяют резонаторные перфорированные экраны, располагаемые вдали от ограждения и имеющие оклейку с обратной стороны тканевым покрытием.

Звукопоглощающие отделочные материалы выпускают в основном в виде плит, имеющих хороший декоративный внешний вид, различные размеры. Фактура этих плит может быть щелевидной, трещиноватой, бороздчатой, круглой, иметь рельефы и быть окрашенной.

Плиты при выполнении потолков крепятся в стык по деревянному каркасу. Возможно использование плит в конструкции подвесного потолка.

Большинство применяемых в настоящее время звукопоглощающих материалов обладают большей гигроскопичностью и не обладают водостойкостью. Между тем в процессе производства материалов, а также перевозки, хранения и монтажа изделия могут приобретать до укладки в «дело» производственную влажность. Высыхание до равновесной влажности происходит лишь через несколько лет эксплуатации.

При эксплуатации во влажной среде более 70% названные изделия с высокой пористостью (60-98%) могут быстро сорбировать влагу из воздуха или увлажняться при непосредственном соприкосновении с водой. В результате эти материалы и изделия не могут эффективно использоваться в ряде зданий, сооружений и спецконструкций, так как теряют свои звукопоглощающие свойства: при насыщении водяными парами и водой звукопоглощение материала значительно уменьшается. Поэтому звукопоглощающие материалы "Акминит", "Акмигран", "Спиптон", "Травертон", а также другие на основе не водостойкого связующего возможно по техническим условиям применять лишь внутри помещений с относительной влажностью не более 70%. В противном случае крахмальное или другое неводостойкое связующее набухает, может загнивать, терять свои физико-механические свойства. Известны различные варианты введения модифицирующих добавок, например, полиакриламидов, дифинилпропана, фенолоспиртов, мочевино-формальдегидных и других соединений, в различных пределах повышающие водостойкость связующего, но не делающими его водостойким.

Звукопоглощающие пористо-волокнистые (мягкие и полужесткие) материалы в соответствующих конструкциях должны выпускаться только с защитными продуваемыми и не продуваемыми оболочками, препятствующими высыпанию мелких волокон и пыли. Предохранять такие материалы от повреждений могут защитные перфорированные покрытия.

В табл. 17.2 приводятся сравнительные свойства материалов данных в основном первого, иногда второго класса.

Появились новые звукопоглощающие материалы, имеющие специальные свойства, например, температурную стойкость в интервале от -60 до 450°С, что возможно при использовании в качестве

Таблица 17.2

Свойства звукопоглощающих материалов

Наименование материала и его плотность, кг/м^3	Предел прочности при изгибе , МПа	Габариты изделия, мм	Коэффициент перфорации ,%	Коэффициент размягчения	Допустимая относительная влажность воздуха в помещении, %
Минераловатные акустические плиты, до 130	-	500x500x x20	-	0,8	-
"Акмиран", "Акминит", 350-400	0,11	300x300x x20	12-13	0-0,5	70
Газосиликат, газобетон, "Силакопор", 150-300	0,15-0,2	750x350x x45-25	-	0,2-0,6	70
Новые гидрофобизированные материалы, 150-300	не менее 0,1	различные	-	0,9	100
Акустические экраны из сухой гипсовой штукатурки	не менее 0,1-0,11	500x500x8 1000x500x x8	10-15	-	70
Акустические гипсовые плиты с минеральным звукопоглотителем, 500	0,12	600x600x x8,5	12-16	0,7	65
Перлитовые звукопоглощающие плиты, 250-500	0,4-0,12	300x300 x30	-	0,7	-
"Траверон"(США)	-	-	-	0,9	70
"Рокфон" (Швеция)	-	1000x600x x80	-	-	70

основы штапельного стекловолокна или супертонкого стекловолокна и синтетического связующего. Плотность изделий 25-65 кг/м^3, класс изделий преимущественно первый, второй.

В общественных и промышленных зданиях используют звукопоглощающие устройства. Одиночный резонатор, помещенный в звуковом поле, рассеивает энергию звуковой волны. Эффективность действия его зависит от размеров, формы и внутренних потерь. Звукопоглощающие конструкции обычно изготовляют из металла, фанеры, пластмассы в виде перфорированных панелей, расположенных "на относе" от стены.

Используют пустотелый звукопоглощающий керамический кирпич, имеющий форму акустического резонатора - полости с узкой горловиной. В объеме полости звукопоглощение составляет около 0,8. Керамический звукопоглощающий материал является не только отделкой, но и несущим элементом.

§ 3. Звукоизоляционные материалы

Звукоизоляционные, или, как их часто еще называют, прокладочные, материалы применяют для звукоизоляции в основном от ударного шума в многослойных конструкциях перекрытий и перегородок и частично для поглощения воздушного шума.

Нормируемыми параметрами звукоизоляции являются индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкции J_B (дБ) и индекс приведенного уровня ударного шума над перекрытием J_y (дБ). J_B , J_y определяются по соответствующим графическим зависимостям или таблицам нормативных документов (СНиП).

Звукоизоляционная способность конструкции зависит от ее структуры, размеров, массы, жесткости, внутреннего сопротивления материала прохождению звука, способа опирания и других особенностей. В зависимости от структуры конструкции делят на акустические однородные и акустические неоднородные. К первым относят конструкции, которые совершают колебания как единое целое, у вторых - частицы на поверхности конструкции совершают отличные друг от друга перемещения, что возможно при слоистой системе конструкции из разнородных материалов, в том числе содержащих прослойки воздуха. Звукоизолирующая способность акустически однородных конструкций прямо пропорциональна десятичному логарифму его массы. Это значит, что звукоизолирующая способность таких конструкций увеличивается, следуя логарифмической кривой, сначала довольно быстро, а затем очень медленно. Если идти по пути увеличения массы конструкции, то это сделает их слишком тяжелыми, громоздкими и дорогими.

Повысить звукоизолирующую способность акустически неоднородных конструкций можно применением слоистых систем с про-

слойками, в которых динамический модуль упругости материала должен быть несоизмеримо меньше упругости материала жестких слоев акустически однородной конструкции. Например, модуль упругости бетонов - от 5000 до 30000 МПа, а воздуха - 0,14 МПа. Пористые материалы в прослойке имеют модуль упругости 5 МПа.

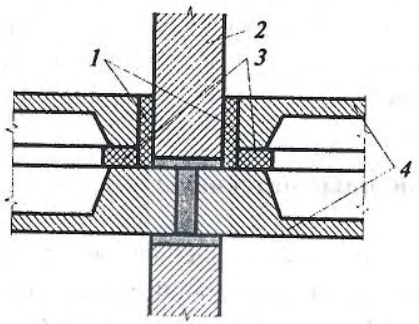


Рис. 17.1. Схема применения звукопоглощающих прокладочных материалов и изделий в стыках внутренних стен и междуэтажных перекрытий:
1 - панель внутренней несущей стены; *2* - панель перекрытия; *3* - полосовые или штучные нагруженные прокладки; *4* - полосовые или штучные ненагруженные прокладки

Примером акустически неоднородных конструкций являются межквартирные стены, разделенные воздушным промежутком, а также перекрытия с раздельным, "плавающим" полом и с раздельным потолком (рис. 17.1). Таким образом, акустически неоднородные конструкции должны иметь воздушные промежутки или звукоизоляционные прокладки и не иметь жестких связей между слоями. Осуществление первого условия, например, может при толщине воздушной прослойки 1 см эквивалентно заменить по звукоизоляции 10 см бетона.

Звукоизоляционные материалы применяют в перекрытиях - в виде сплошных нагруженных или ненагруженных (несущих только собственную массу) прокладок, полосовых нагруженных и штучных нагруженных прокладок; в стенах и перегородках - в виде сплошной ненагруженной прокладки; в стыках конструкций.

Звукоизоляционные прокладочные материалы эксплуатируются под нагрузкой в сплошном слое или в виде полосовых прокладок, которые несут нагрузку в несколько раз больше, чем первые. Например, удельные нагрузки, рекомендованные для сплошного звукоизоляционного слоя, - 0,002 МПа или $2 \cdot 10^3$ Н/м^2, а при полосовых прокладках 0,01 МПа или $1 \cdot 10^4$ Н/м^2. Эксплуатация под нагрузкой существенным образом меняет требования, предъявляемые нормативными документами к этим материалам. Для звукоизоляционных материалов становятся важными их относительные деформации под нагрузкой не

только при кратковременном испытании, но особенно в длительной эксплуатации. Это соответствует фактической работе материалов, которые под нагрузкой и в зависимости от ее величины обжимаются и подвергаются процессу ползучести.

Плотность пористо-волокнистых звукоизоляционных изделий должна быть от 75 до 175 кг/м^3.

Звукоизоляционные материалы и изделия характеризуются вязкоупругими свойствами и должны обладать динамическим модулем упругости $E_Д$ не более 15 МПа. (Например, песок, доменный шлак, керамзит).

Пористо-волокнистые звукоизоляционные прокладочные изделия (материалы) из различной ваты, мягкой, полужесткой и жесткой видов с $E_Д$ не более 0,5 МПа или $5 \cdot 10^5$ Н/м^2, имеют нагрузку на звукоизоляционный слой 0,002 МПа или $2 \cdot 10^3$ Н/м^2.

Пористо-губчатые звукоизоляционные прокладочные изделия (материалы) должны быть из пенопластов и пористой резины с $E_Д$ от 1 до 5 МПа.

Деформативность звукоизоляционного материала складывается из упругих свойств воздуха, заключенного в материале, и деформативности скелета материала. Звукоизоляционные материалы высокой деформативности под удельной нагрузкой $2 \cdot 10^3$ Н/м^2 имеют относительное сжатие свыше 15%. Это мягкие материалы (М). Они имеют волокнистую или пористо-губчатую структуру. Полужесткие (ПЖ) имеют величину относительного сжатия от 5 до 10%; жесткие (Ж) - до 5%, а твердые (Т) - вплоть до 0.

Важнейшим свойством, определяющим эффективность звукоизоляционного прокладочного материала, является его жесткость. Жесткость связана с толщиной прослойки и динамическим модулем упругости материала. По величине динамического модуля упругости звукоизоляционные прокладочные материалы делятся на подгруппы.

В табл. 17.3 приведены основные свойства некоторых звукоизоляционных материалов.

Цементно-стружечные листы в стальном каркасе (жесткий скелет) используются для ограждения внутрипроизводственных помещений.

Конструкция звукоизолирующих перегородок - каркас из гнутых профилей с обшивкой с двух сторон цементно-стружечными плитами толщиной 10 мм.

Таблица 17.3

Свойства звукоизоляционных материалов

Наименование материалов и изделий	Плотность, кг/м^3	Относительные деформации сжатия под нагрузкой			Динамический модуль упругости при нагрузке	
		$2\cdot10^3$ Н/м^2 (при испытаниях в течение 15 мин)	$2\cdot10^2$ Н/м^2 (при длительных испытаниях), не более	$1\cdot10^4$ Н/м^2 (при длительных испытаниях), не более	$2\cdot10^3$ Н/м^2	$1\cdot10^4$ Н/м^2
Плиты и маты минераловатные на синтетическом связующем	80 100 150	0,1 0,2 0,06	0,4 0,50-0,52 0,45	0,55 0,65-0,7 0,6	$4\cdot10^5$ $(3,6\text{-}4,5)10^5$ $5\cdot10^5$	$5,6\cdot10^5$ $7\cdot10^5$ $8\cdot10^5$
Древесно-волокнистые плиты	250	0,02	0,06	0,15	$1\cdot10^6$	$1,2\text{-}10^6$
Песок кварцевый	1500	0,03	0,03	-	$12\cdot10^6$	-
Керамзит, шлак	300-600	0,03	0,03	-	$(5,6\text{-}9)10^6$	-

В экранированных звукоизолирующих перегородках между двумя цементно-стружечными плитами прокладывается стальной лист толщиной 2 мм и шириной 1,8 м.

В течение нескольких последних лет в ФРГ, Швейцарии и некоторых других европейских странах для подстилающего звукопоглощающего слоя дорожного покрытия успешно применяют керамзитобетонные плиты. Для изготовления плит применяют гранулированный керамзит с замкнутыми пустотами диаметром 3-10 мм, создающий высокую звукопоглощающую способность плит конструкций в среднечастотном и высокочастотном диапазоне звуковых волн.

Улучшить звукоизоляционную способность материала можно путем сочетания упругих и эластичных волокон в каркасе материала, хаотичности их распределения. Установлено, что акустические характеристики различных материалов, например, с жесткой структурой, имеющие различные структурные характеристики - пористость и диаметр пор - но различные физико-технические свойства, акустически эквивалентны. Изготавливают ленточные и полосовые прокладки

длиной от 1000 до 3000 мм и шириной 100, 150, 200 мм, а штучные прокладки длиной и шириной 100, 150, 200 мм. Изделия из волокнистых материалов применяются только в оболочке из водостойкой бумаги, пленки, фольги и др.

В качестве эффективных звукоизоляционных материалов применяют маты и плиты полужесткие минерало- и стекловатные на синтетическом связующем, маты стекловатные прошивные, плиты древесно-волокнистые, пенопласты (полиуретановые и поливинилхлоридные), пористую резину.

Вибропоглощающие материалы предназначены для поглощения вибрации и вызываемых шумов при работе санитарно-технического и инженерного оборудования в гражданских и промышленных зданиях. Промышленность остро нуждается в специальных вибропоглощающих материалах. Вибропоглощающими материалами могут служить листовые пластмассы, фольгоизол, некоторые сорта резины и различные мастики. Вибропоглощающие материалы наносятся на тонкие металлические поверхности, при этом создается эффективная вибропоглощающая конструкция с высокой энергией на трение.

Хорошие акустические свойства зданий и сооружений могут быть достигнуты путем рационального применения звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов, часто полифункционального назначения, а также эффективных конструкций на их основе при хорошем качестве строительных работ.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие материалы называются акустическими и их классификация. Физический смысл.
2. Какую функцию выполняют звукопоглощающие материалы конструкции? Основные виды звукопоглощающих материалов. Особенности их структуры.
3. Свойства различных видов звукопоглощающих материалов.
4. Какую функцию выполняют звукоизоляционные прокладочные материалы в конструкции? Особенности их структуры,свойств.

Дополнительная литература

1. *Горлов Ю.П.* Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высшая школа. 1989.

2. *Шебалин О.Д.* Физические основы механики и акустики. - М.: 1981.

3. Тепловая изоляция: Справочник строителя. - М.: Стройиздат, 1985.

4. Защита от шума в градостроительстве: Справочник проектировщика /Под ред. Г.Л. Осипова. - М.: Стройиздат, 1994.

Глава XVIII. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие сведения

Материалы, применяемые в качестве отделки, должны придавать строительным конструкциям и сооружениям определенные свойства:

- защищать от воздействия окружающей среды;
- придавать завершающее архитектурное оформление;
- создавать особые санитарно-гигиенические условия, уменьшающие запыление, загрязнение, увлажнение, защиту от шума и др.;
- обеспечивать возможность восстанавливать свойства поверхности отделки, эксплуатирующейся под влиянием коррозионного и морозного старения, механических и химических дефектов, радиационного облучения, износа и других воздействий среды, различными приемами.

Во всем мире резко увеличивается объем производства отделочных материалов, расширяется ассортимент, повышается качество и декоративность, столь необходимые современному городу, общественным зданиям и жилищу.

Разнообразные отделочные материалы и изделия, применяемые в современном строительстве, а их насчитывается свыше 350 наименований, классифицируют на:

- технологические по основному исходному материалу;
- архитектурно-строительные по «месту» и назначению работы в конструкции.

Согласно технологической классификации отделочные материалы и изделия подразделяют на следующие группы: красочные составы, природные и искусственные камни, керамика, стекло, металл, лесные материалы, полимеры и др.

По архитектурно-строительной классификации отделочные материалы подразделяются для:

- наружной отделки;
- внутренней отделки;
- покрытия полов;
- специальных целей.

Ряд материалов и изделий применяют для отделки как внутренних интерьеров, так и фасадов зданий, предъявляя к ним высокие эксплуатационные и эстетические свойства.

Среди эксплуатационных свойств важнейшими являются санитарно-гигиенические требования, создающие в помещениях здоровые условия для жизни, работы и отдыха, а также огнестойкие, токсилогические, радиационные характеристики, удовлетворяющие соответствующим нормам. Весьма важно, чтобы материал отделки легко промывался, дезинфицировался, очищался, в том числе под вакуумом и давлением.

Условием создания высокого эстетического качества является подчинение отделки законам красоты, гармонии, художественного вкуса, наиболее образно передавая цветовой тон, светлоту, насыщенность цвета, цветовой рисунок, структурно-текстурные особенности материала.

Доминантой строительных свойств отделочных материалов является их долговечность. Она зависит от степени участия отделки в работе несущих и ограждающих конструкций, влияния среды эксплуатации на качество контактного слоя, обеспечивающего сцепление отделки с основанием - подложкой. Чаще всего таким основанием служит раствор или бетон, для выравнивания поверхности которых применяются специальные композиции.

Решающее значение на экономическую эффективность применения отделочных материалов оказывают фактический срок службы, эксплуатационные расходы на текущие и капитальные ремонты. а также общий срок службы с учетом морального старения.

В настоящее время наибольшее распространение имеет окраска, составляющая в общем объеме отделочных работ фасадов зданий более 50%.

§ 2. Красочные материалы

Красочными составами называют вязко-жидкие многокомпонентные составы, наносимые тонкими слоями. Они формируют сцепление наносимой поверхности с основанием, а после отверждения образуют покровные пленки. Красочные составы обычно совмещают функции отделки и защиты поверхности строительных конструкций из металла, железобетона, дерева, кирпича и других материалов от воздействия среды. По составу красочные материалы - композиты, состоящие из связующего (матрица), пигмента и наполнителя.

Поверхности большинства материалов, применяемых в строительстве, грубые, т.е. имеют большую шероховатость, раковины и другие дефекты структуры. Они подразделяются на классы А1-А7. В отличии от абсолютно плотных металлов эти материалы помимо уже указанных недостатков имеют еще на своей поверхности достаточно большое поровое пространство, образуемое порами и капиллярами различного размера. Это существенно меняет свойства поверхности, которая становится способной отсасывать связующее красочного состава, и часто химически фиксировать его. Поэтому поверхности, подлежащие окраске, например, железобетонных и бетонных конструкций, должны соответствовать категориям А2 и А3. Это значит, что на них ограничивается диаметр раковин (открытых пор), высота наплыва, глубина скола и пр.

Процесс получения красочных покрытий включает следующие последовательные операции: **грунтование, шпатлевание и нанесение красочных слоев**. Число перечисленных операций определяется требованиями к внешнему виду и условиям эксплуатации покрытий. Грунтовочный слой представляет собой жидкий состав, хорошо впитывающийся основанием, предназначенный для выравнивания свойств материала-подложки по отсасывающим свойствам. Грунтовка способствует также улучшению сцепления основного покрытия с подложкой. В состав грунтовок для металлических поверхностей вводят противокоррозионные пигменты или другие ингибиторы коррозии. Шпатлевочные составы наносят с целью выравнивания поверхности и ликвидации ее дефектов. Для шпатлевания применяют густые пастообразные составы, которые имеют высокую трещиностойкость. Различают местное и общее шпатлевание. После грунтования и шпатлевания наносят последующие окрашивающие слои покрытия. Грунтовка, шпатлевка и окраска за счет многослойности образуют **композиционный материал покрытия** (рис.18.1). Особенности композиционного красочного покрытия четко проявляются тогда, когда подложка-основание пориста и химически активна. В ряде случаев выполняют шлифование готовой поверхности различными абразивными материалами или покрытие ее лаком.



Рис.18.1. Схема строения красочного материала:
1 - пористая подложка (бетон); *2* - шпаклевочный слой; *3* - грунтовочный слой; *4* - слой красочного состава; *5* - верхний слой, контактирующий со средой

Красочный состав состоит из связующего или пленкообразующего, после отверждения которого образуется прочная, долговечная пленка, имеющая хорошее сцепление с основой-подложкой. Красочные составы бывают **водные** (известковые, силикатные, цементные, клеевые, казеиновые), **масляные** (натуральные), **полимерные** и др.

Растворитель или разжижитель позволяет получить жидко-вязкую консистенцию состава в том числе без дополнительного расхода связующего. Этими компонентами могут быть органические растворители и вода. Связующее и органический растворитель образуют лак, а лак плюс пигмент составляют эмаль. Существуют водные и вододисперсные (латексные) красочные составы.

Недостатком лаков и эмалей является наличие в них органического растворителя, а следовательно, токсичность, взрыво- и пожароопасность, вследствие чего окраска должна производиться в специальных герметических окрасочных камерах, снабженных вентиляционным устройством. Структура отечественных красочных материалов, к сожалению, до сих пор состоит преимущественно из лаков и эмалей. Эти материалы в своем большинстве содержат до 50% летучих органических растворителей, что создает серьезный источник экологической вредности. Задача промышленности - ограничить содержание растворителей в лаках и эмалях, а главное создать экологически полноценные материалы за счет вододисперсионных и порошковых красок, которые пока в общем объеме производства пока еще малы. Вместе с тем вододисперсные краски за рубежом составляют в среднем 15-20% (в Германии - более 35%), а порошковые краски - 3-7%.

Реальную долговечность красочных покрытий определить трудно. Известно, что расход лакокрасочных материалов и их долговечность связаны обратно пропорциональной зависимостью. Это означает, что необходимо увеличить срок службы покрытия в "деле", т.е. повысить защитные свойства единицы толщины покрытия. Заводы, производящие краски, это могут сделать путем повышения дисперсности пигментов и наполнителей, отфильтрования включений, как концентраторов напряжений, модификации компонентов состава, введения функциональных добавок. Повышение эксплуатационного срока службы покрытия напрямую связано с тщательной подготовкой поверхности для нанесения красочных составов.

Классификация и свойства красочных материалов

Красочные материалы и покрытия классифицируют преимущественно по химическому и эксплуатационному признакам. В основу химической классификации и обозначения красочных материалов положен вид, природа пленкообразующего вещества и их назначение, которые имеют обозначение с буквенными и цифровыми индексами. Буквы обозначают принадлежность материала к той или иной группе по роду пленкообразующего. Ниже приведены примеры буквенного обозначения природы материалов.

Алкидноакриловые АС, *глифталевые* ГФ, *кремнийорганические* КО, *мочевинные* (карбамидные) МИ, *перхлорвиниловые* ХВ, *полиакриловые* АК, *полиамидные* ПА, *поливинилацетатные* ВА, *силикатные* ЖС, *эпоксидные* ЭП и т.д.

Классификация покрытий по эксплуатационному признаку способствует определению рациональной области использования того или иного покрытия. В табл. 18.1 приведена классификация красочных материалов по группам эксплуатации покрытий.

Далее идут покрытия специальные (например, маслобензостойкие - 6, химически-стойкие - 7, термостойкие - 8, электроизоляционные - 9). Красочные составы имеют при маркировке в начале индекса буквы: вододисперсионные - ВД, органодисперсионные - ОД, водоразбавляемые - В, порошковые - П.

Пример. Эмаль ХВ-16 - перхлорвиниловая эмаль (ХВ) для атмосферостойких покрытий 1, регистрационный номер 6.

При маркировке покрытий учитывается также и качество внешнего вида покрытий. В соответствии с ГОСТ установлены 7 классов качества внешнего вида покрытий в зависимости от вида дефекта и их количества: 1 - не допускаются никакие дефекты; II-VII - возможны отдельные включения с учетом их числа (шт/м^2) в зависимости от длины, ширины, диаметра дефекта и расстояниями между ними; III-VII классы допускают волнистость, V-VII - потеки; IV-VII - разноотеночность.

Таблица 18.1

Классификация красочных материалов

Наименование материала по назначению	Группа эксплуатации	Условия эксплуатации
Атмосферостойкие	1	Покрытия, стойкие к различным климатическим воздействиям, эксплуатируемые на открытой площадке
Ограниченно атмосферостойкие	2	Покрытия, эксплуатируемые под навесом и внутри не отапливаемых помещений
Консервационные	3	Покрытия, применяемые для временной защиты окрашиваемой поверхности
Водостойкие	4	Покрытия, стойкие к воздействиям воды и ее паров
Специальные	5	Покрытия, обладающие специфическими свойствами: стойкостью к рентгеновскому излучению; светящиеся

Красочные составы различают по методу нанесения - кистевые, пульверизационные, по условиям сушки - холодные и горячие, а также по степени блеска.

Красочные составы по своей консистенции могут быть жидкими, вязкими, пастообразными, а по своим реологическим характеристикам относятся к структурированным системам. Для них характерно пластическое и псевдопластическое течение, связанное с различной степенью структурообразования в массе материала. Сильно структурированные краски пригодны для нанесения только распылением, кистью, валиковым способом, но не методом окунания или облива. Каждому способу нанесения краски соответствует оптимальная вязкость, при которой не возникают дефекты поверхности покрытий. Для определения вязкости красок применяют вискозиметры, вязкость при этом измеряют в с. Жизнеспособность красочных составов опре-

деляется временем, в течение которого вязкость системы после смешения компонентов практически не изменяется.

Для определения свойств красочных покрытий отверждение производят на твердой недеформируемой подложке (металл, стекло). Процесс пленкообразования связан с протеканием химических и физико-химических процессов отверждения в слое краски, испарением растворителя или распадением водных дисперсий и др. Степень отверждения покрытий можно характеризовать показателем твердости. Наиболее доступным и простым является метод определения твердости покрытий по затуханию колебаний маятника специального прибора. Технологичность нанесения красочного материала зависит от времени высыхания связующего, в течение которого жидкий лакокрасочный состав, нанесенный тонким слоем, затвердевает и превращается в пленку. Различают 5 стадий ее высыхания.

Основные компоненты красочных составов

В качестве сырья в производстве красок и лаков применяют пленкообразующие вещества, наполнители, пластификаторы, растворители, сиккативы, а также вспомогательные материалы (стабилизаторы, диспергаторы и т.д.).

Пленкообразующие вещества или связующие служат для сцепления между собой частиц пигмента и создания тонкой красочной пленки, прочно держащейся на окрашенной поверхности.

Связующие вещества подразделяются на: клеи, казеин, известь, цемент, жидкое стекло, полимеры, олифы, применяемые в различных составах. От свойств связующего зависят технологические и эксплуатационные свойства, а главное долговечность красочного покрытия.

Натуральное связующее - **олифа**. Ее получают при переработке растительных масел (льняного, конопляного и др.). Олифа способна "высыхать", отвердевая, за счет окисления кислородом воздуха. Ускоряют этот процесс **сиккативы** ("сикко" в переводе "сушить", "высушивать"). Различают олифу натуральную, содержащую 100% растительного масла. Выпускают олифу "Оксоль", содержащую 55% масла и 45% уайт-спирта, а также комбинированную олифу с содержанием 70% масла и 30% уайт-спирта. Комбинированные олифы - глифталевая, пентафталевая, перхлорвиниловая и др. Глифталевую олифу, например, получают в результате нагрева льняного масла, фталевого ангидрида и глицерина. Пентафталевая смола является продуктом конденсации пентаэритрита и фталевого ангидрида.

Синтетическое связующее способствует отказу от импорта натуральных смол (копал, шеллак, даммар) и экономит пищевые растительные масла. Синтетическими связующими стали разнообразные полимерные материалы, производство которых с каждым годом расширяется. Они применяются в красочных материалах в виде лаков, эмалей, пастовых составов и вододисперсионных красках.

Пигменты - это сухие красящие порошки, являющиеся также наполнителями системы, нерастворимые в воде, масле и других растворителях. В зависимости от происхождения пигменты классифицируются на минеральные и органические, а по способу получения - на природные и искусственные (табл. 18.2). Для получения природных минеральных пигментов производят механическую обработку природных материалов: помол, просев или отмучивание.

Таблица 18.2

Классификация пигментов по природе происхождения

Пигменты			
Минеральные		Органические	Металлические порошки
Природные	Искусственные		
Мел	Белила цинковые	Пигмент желтый	Пудра алюминиевая
Известь	Белила титановые	Пигмент алый	
Каолин	Белила свинцовые	Пигмент красный	Пыль цинковая
Охра	Литопон сухой	Пигмент голубой	
Мумия	Крон цинковый	Киноварь искусственная	Бронза золотистая
Умбра	Умбра жженая		
Сурик железный	Сажа малярная		
Перекись марганца	Зелень цинковая		
Графит	Оксид хрома		
	Лазурь малярная		

Искусственные минеральные пигменты получают путем термической обработки минерального сырья. Например, жженые охра,

умбра. Среди искусственных пигментов наблюдается острый дефицит белых.

В настоящее время широкое распространение среди белых пигментов - белил - имеет диоксид титана благодаря своим уникальным свойствам, стойкости и безвредности. Мировое его производство продолжает непрерывно расти. Применяют литопоновые и цинковые белила, имеющие хорошие показатели. Помимо традиционных сухих порошковых пигментов получают пигменты в виде паст-концентраторов, эмульсий и микрокапсул. Запрещено применение токсичных пигментов, содержащих в своем составе, например, свинец. Однако и они используются, благодаря высшему качеству, в редких случаях для надежных антикоррозионных покрытий там, где позволяет охрана труда человека.

Дисперсность пигмента влияет на все его основные свойства. Чем тоньше частицы, тем выше укрывистость и красящая способность пигмента. Полидисперсный состав пигмента позволяет получить плотное покрытие при минимальном расходе связующего. *Укрывистость* определяет расход красочного состава на единицу окрашиваемой поверхности. *Красящая способность* - способность пигмента передавать свой цвет смеси с белым пигментом. *Светостойкость* характеризуется способностью пигмента сохранять свой цвет при действии ультрафиолетовых лучей. Большинство природных пигментов - светостойки, некоторые органические пигменты обесцвечиваются в процессе эксплуатации.

Маслоемкость характеризуется количеством олифы (г), необходимым для превращения 100 г пигмента в пастообразное состояние.

Атмосферостойкость - свойство противостоять длительное время атмосферным воздействиям: вода, кислород воздуха, кислые газы, попеременное увлажнение и высыхание, замораживание и оттаивание. *Щелочестойкость* нужна, т.к. некоторые пигменты изменяют свой цвет при соприкосновении с щелочными растворами. Их не применяют для изготовления красочных составов, наносимых на поверхность бетона. Щелочестойкими являются почти все природные пигменты, а также многие искусственные пигменты (титановые белила, оксид хрома, органические пигменты "алый" и "оранжевый"). Для изготовления кислотостойких красок применяют только кислотостойкие пигменты (оксид хрома, титановые белила, графит).

Наполнители. В отделочные составы для их удешевления, повышения декоративных и защитных свойств добавляют тонкоизмельченные наполнители: тальк, диатомит, молотый песок, слюда и особенно часто мел и известняки.

За рубежом расширяется применение в качестве наполнителей органических полимерных порошков: полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида и др.

Виды красочных составов

Масляные краски

Масляные краски изготовляют на заводах растиранием олифы с пигментами в специальных машинах-краскотерках. При растирании образуется однородная суспензия, в которой каждая частица пигмента или наполнителя имеет оболочку из связующего, адсорбированного на их поверхности. Различают густотертые и жидкотертые масляные краски. *Густотертые краски* производят в виде паст и доводят до рабочей вязкости добавлением олифы. *Жидкотертые масляные краски* выпускают готовыми к употреблению с содержанием олифы 40-50%. К таким краскам относятся титановые, цинковые белила. Масляные краски чаще всего применяют для защиты стальных конструкций от коррозии, для предохранения оконных переплетов и других деревянных элементов от увлажнения, а также для окраски поверхностей, подвергающихся истиранию и частой промывке водой (полы, нижние части стен коридоров общественных зданий, металлические ворота шлюзов и т.д.).

Масляная краска не изменяет свой объем в процессе твердения, обладает стойкостью и долговечностью.

Лаки и эмалевые краски

Лаки представляют собой пленкообразующие растворы синтетических или натуральных смол в органических растворителях. Для повышения качества лакового покрытия в рецептуру добавляют пластификатор, отвердитель и другие специальные добавки. В строительстве в основном применяют масляно-смоляные, синтетические безмасляные, битумные и асфальтовые лаки.

Масляно-смоляные лаки - это растворы модифицированных растительными маслами натуральных, а также алкидных смол (глифталевых, пентафталевых и др.) в органических растворителях. Масляно-смоляные лаки применяют в основном для внутреннего покры-

тия по хорошо подготовленному дереву, а также для внутренних и наружных работ.

Синтетические безмасляные лаки в основном растворы перхлорвиниловой смолы в органических растворителях. Эти лаки бесцветны, высыхают в течение 2 ч при температуре 20°С. Их применяют для лакировки масляных покрытий с целью улучшения их антикоррозионных свойств. **Битумные и асфальтовые лаки** представляют собой растворы нефтяного битума или асфальта или их смеси и растительных масел в органических растворителях. Применяют для грунтовки металлических поверхностей под антикоррозионное покрытие, для покрытия скобяных и других металлических поверхностей. **Каменноугольные лаки** - это растворы каменноугольного пека в органических растворителях. Их применяют как антикоррозионное покрытие чугунных и стальных конструкций и изделий.

Эмалевые краски представляют собой суспензию пигмента в лаке. Строительные эмалевые краски должны обладать определенной твердостью, атмосферостойкостью, хорошим внешним видом, способностью высыхать при обычной температуре не более чем за 1-2 суток. К синтетическим эмалям относятся алкидные, перхлорвиниловые. Алкидные эмалевые краски - суспензия пигмента в глифталевом, пентафталевом, алкидностирольном и других алкидных лаках. Для наружных работ служат глифталевые ГФ-13 и пентафталевые эмали ПФ-14. Перхлорвиниловые эмалевые краски ПХВ используют для отделки предварительно загрунтованных металлических поверхностей и для отделки бетонных фасадных поверхностей. Широкое распространение нашли кремнийорганические эмали. Кремнийорганические покрытия гидрофобны, атмосферостойки, защищают наружные ограждения от увлажнения, но не препятствуют естественной вентиляции помещений. Покрытия на основе каучуковых эмалей (раствор хлоркаучука в органическом растворителе) обладают высокой водо- и коррозионной стойкостью, их применяют для защиты от коррозии металлических и железобетонных конструкций.

Промышленность должна увеличить выпуск эмалей с пониженным содержанием летучих веществ.

Вододисперсионные краски

Вододисперсионные краски состоят из двух несмешивающихся жидкостей, в которой частицы одной - глобулы - распределены в другой - дисперсионной или внешней фазе, эмульгатора, препятствующего слипанию глобул, пигмента и специальных добавок. Вода, являясь внешней фазой, отсасывается пористым основанием подложки, на которую нанесена краска, и частично испаряется. При этом происходит обращение фаз и распадение эмульсии, глобулы сливаются и образуется гладкое покрытие. После отверждения покрытие приобретает матовый оттенок, становится водостойким, воздухопроницаемым. При этом вододисперсионные краски не токсичны, технологичны, так как могут легко разбавляться водой до требуемой вязкости.

В ассортименте вододисперсионных красок ведущее положение пока занимает поливинилацетатная краска. Это водная дисперсия поливинилацетата, пластифицированная дибутилфталатом, пигмент, добавки. Краска обладает определенной водостойкостью, достаточной адгезией к бетону, штукатурке, дереву.

Акрилатная краска отличается повышенной атмосферостойкостью и долговечностью. Краску применяют для отделки фасадов зданий, влажных помещений. Акрилатные краски перспективны, так как у них есть развивающаяся сырьевая база. Кремнийорганические вододисперсионные краски имеют такое же применение, как и акрилатные. Они придают покрытию гидрофобность, которая значительно повышает долговечность покрытия и конструкции, которую защищают.

Связующее бутадиенстирольной краски состоит из глифталевого лака. Бутадиенстирольные краски применяют в основном для высококачественной отделки здания.

Общая тенденция развития вододисперсионных красок - повышение их несмываемости (до 0 г/м^2) и эксплуатационного срока службы.

Пастовые составы

В отделке зданий и сооружений используются **пастовые составы,** создающие сразу покрытия толщиной до 1000 мкм. Пастовые составы готовят на основе синтетических смол и водных дисперсий полимеров. Имеются пастовые, полимерцементные, полимергипсовые, полимергипсоцементные составы. Применение нашел пастовый состав "Дефас", изготовленный на основе поливинилацетатной краски ВД-ВА-17, кварцевого песка, маршалита. Для отделки фасадов зданий широко применяются пастовые составы на основе и других вододис-

персионных красок. Пастовые составы имеют преимущество в получении комплексного покрытия, обладающего одновременно свойствами штукатурок и красочных покрытий при сравнительной простоте нанесения таких составов, резком сокращении трудоемкости и сроков процесса отделки.

Порошковые краски

Порошковые краски представляют мелкодисперсную сухую смесь, состоящую их твердых полимеров, наполнителей, пигментов и специальных добавок. Основные свойства: оптимальная дисперсность (10-100 $м^2/г$), сыпучесть и насыпная плотность. Порошковые краски доводят до рабочей вязкости ожжижением, т.е. переводом в капельно-жидкое состояние (расплав), монолитизацией - слиянием частиц и их отверждением с образованием химически стойкого покрытия. В качестве основного сырья применяют термопластичные полимеры (полиэтилен, поливинилхлорид, полиамиды) и реактопласты (эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые). Формирование покрытий может происходить в широком интервале температур, при этом изменяется и продолжительность процесса отверждения. Покрытия наносятся на защищаемую поверхность различными методами с разогревом состава (пистолетом и др.). Например, покрытия из поливинилбутирольной краски ПВЛ-212 получают при температуре 170°С и 250°С, время формирования и покрытия соответственно составляют 30 и 3 мин.

Краски на неорганических вяжущих

Известковые, цементные, силикатные краски. В качестве связующего применяется гашеная известь. Для повышения водоудерживающей способности красочного состава вводят специальные добавки: хлористый кальций, поваренную соль или алюминиевые квасцы, иногда полимеры. Срок службы таких покрытий на воздухе низок. В качестве связующего цементных красок применяют белый или цветной цементы. Для повышения водоудерживающей способности состава в него вводят известь-пушонку и хлористый кальций. Цементные краски применяют для наружных работ. Силикатные краски представляют суспензию пигментов и активных наполнителей (диатомита или трепела) в водном растворе силиката калия. Краска относительно водостойка. Силикатными красками окрашивают фасады зданий, а также деревянные конструкции для защиты от возгорания.

Казеиновые и клеевые краски. Краски представляют собой суспензии пигментов и наполнителей в водных или водно-щелочных растворах клея или казеина. Клеевые краски приготовляют с использованием синтетических клеев - на основе карбоксилметилцеллюлозы и других полимеров. Для повышения прочности и водостойкости в клеевые составы вводят олифу. Клеевые составы не водостойки, их применяют для внутренней отделки помещений. Казеиновые краски готовят на месте производства малярных работ перемешиванием с водой сухих (порошковых) красок промышленного производства. Для повышения водостойкости в казеиновые краски вводят известь, что повышает атмосферостойкость покрытия. Казеин - пищевое сырье, поэтому эти краски имеют ограниченное применение.

§ 3. Природный и искусственный камень

Природный камень применяется для наружной отделки монументальных и общественных зданий. Для этой цели используют плиты и блоки из гранита, диорита, сиенита, лабрадорита, андезита, известняка, доломита, кварцита, кремнистого песчаника и др. Толщина плит 4-8 см. Применение мрамора не рекомендуется, так как в окружающей среде современного города он быстро корродирует.

Структурно-текстурные особенности горных пород, наличие причудливого рисунка с своеобразным расположением минералов особенно в полированных плитах, украшает город, дает ему долгосрочную эксплуатационную защиту от влияния среды.

Для внутренней отделки используют менее прочные породы: гипс, ангидрид, мрамор, ракушечник. Они хорошо распиливаются и толщина плит может быть до 4 см. Мрамор возможно распиливать на тонкие листы 0,5-1,0 см, что очень экономично. Применяется "искусственный мрамор", изготовленный на минеральном и полимерном вяжущем, который конкурентоспособен природному мрамору, превосходит его по эксплуатационным показателям и имеет большую цветовую гамму.

Широко используется отделка *декоративным бетоном* с использованием белых и цветных цементов, с заполнителями из дробленых горных пород - известняка, гранита, мрамора, а также боя цветного стекла и керамики. Применяют декоративный бетон с обнаженным заполнителем. Для этого разработаны различные замедлители схватывания цемента на основе гидрола, декстрина, мелассы, буры, обеспечивающие продолжительную стабильную жизнеспособ-

ность смесей, цементирующих поверхностный слой. После приобретения бетоном прочности обеспечивается смывание несхватившейся части цементирующего и обнажение заполнителя. Декоративная крошка по клеящей основе на бетонных поверхностях обеспечивает получение многоцветных рисунков, панно на фасаде зданий, осуществляемых также набрызгом сжатым воздухом, механическим способом или в электрическом поле. Возможно перенесение готовых "ковров" из мелкоразмерных материалов на поддон формы при изготовлении железобетонных панелей.

Цветной и декоративный бетон должен обладать классом прочности не менее В 15, иметь марку по морозостойкости не менее F-35 - F-50, а для домов повышенной этажности - не менее F-100. Для того, чтобы обеспечить эти характеристики бетона, предъявляются соответствующие требования к цементу, заполнителям, производственным факторам прочности и стойкости бетона. Необходимым условием долговечности отделки является также высокая прочность сцепления отделочного слоя с основанием конструкции, стабильная во времени.

На практике используются декоративные бетоны с поверхностной обработкой мономерами (полимерами), насыщение которыми поверхностного слоя составляет от 2...3 до 8...10 мм в зависимости от режимов сушки, вакуумирования и пропитки.

Декоративные бетонополимеры имеют высокую морозостойкость - 2000-3000 циклов. Так в нашей стране создан новый отделочный материал "Пластоун", который имеет эффект природного камня, но превосходит его по своим физико-механическим и эксплуатационным свойствам, а также отсутствию радиационного фона. "Пластоун" изготавливается из мраморного фракционированного песка, латексного связующего, пигмента и представляет собой готовую для использования смесь нужного цветового решения. Перед нанесением основного состава для подготовки поверхности наносится из пистолета специальный грунтовочный состав, после высыхания которого наносится основной состав. Расход смеси 2-4 кг/м^2, время высыхания "на отлип" - 24-48 ч.

"Экстраграниt" получают по аналогии природного гранита на основе кварцевого песка в виде плит 300х300 и 300х400 мм толщиной 6...16 мм. По морозостойкости он в 5 раз превосходит керамику и в 2 раза - керамический гранит; по термостойкости в 5 раз, а по химстойкости в 30 раз выше природного гранита.

Наружные ограждения здания часто покрывают раствором из готовых сухих компонентов с пигментами и модификаторами структуры, в том числе гидрофобного типа. В странах Европы применяют материалы из волокнистого цемента без асбеста - "Этернит АГ", из которого создают навесные вентилируемые панели "Поликолор" и "Изоколор".

Штукатурка из мелкозернистого песка с выделением слюды, перлита, стеклянной и полимерной крошки может быть шероховатой, гладкой, бороздковой. Такая же штукатурка может быть украшением наружных стен и фасадов зданий.

Большей частью каменные материалы выполняют при отделке не только декоративную, но и конструкционную функции.

§ 4. Керамика, стекло, металл

Наиболее распространены из *керамики* облицовочные кирпичи, блоки, плитки, получаемые из цветных природных глин белого, красного и кремового цветов, а также с добавками пигментов (серых, черных, коричневых, розовых); производят объемную керамику с крупным рельефом поверхности или бордюры.

Керамическая плитка выпускается специально для полов (более 50 видов), плиток для облицовки стен (более 40 видов), плитки для облицовки фасадов. На некоторые плитки наносят глазурь, глянец транспарантный, то есть прозрачный, блестящий и приглушенный, матовый, что делает его более износостойким и не скользким. Метод распыления глазури аэрографией также делает плитку не скользкой.

Прочность плитки обычно значительно выше нормы (>25 МПа), износостойкость очень высокая, морозостойкость не менее 25 циклов.

В заводской технологии используют в основном ковровую керамику, которая представляет собой мелкую тонкостенную плитку, предварительно наклеенную на ковры, а также ковровую керамику типа "Брекчия", набранную из плиточного керамического боя. Для отделки цоколей здания получила применение плитка "Кабанчик", размерами, эквивалентными размерам кирпича при толщине 8-10 мм. Все керамические изделия отвечают высоким эксплуатационным характеристикам и повышенному сроку службы в наружной отделке. Однако следует учитывать высокие показатели удельных капитальных

ных вложений в основное керамическое производство и сопряженные отрасли.

"Керамический гранит" производят из глинистых материалов с введением минеральных пигментов. Из сырьевой массы формуют на прессах под давлением около 50 МПа плитки, которые затем обжигают в печи при температуре 1250°С. Плитки имеют размеры 200х200, 300х300 мм при толщине от 7,5 до 12 мм. Они не уступают показателям по прочности, износостойкости, термостойкости, морозостойкости, стойкости к агрессивным средам показателям природного гранита.

В странах северной Европы для отделки фасадов применяют цветной клинкерный кирпич, получивший обжиг при температуре 1000-1400^{0}С и превратившийся в стеклообразную массу. Такой материал хорошо зарекомендовал себя в течение нескольких веков.

В последнее десятилетие существенно повысилась роль облицовочных материалов из стекла. Номенклатура показателей изделий из стекла широка, например:

- стекло цветное глушенное типа "Марблит";
- стекло крупноразмерное закаленное, покрытое с внутренней стороны керамической краской стемалит;
- коврово-мозаичная плитка;
- эмалированная плитка;
- ситалл и шлакоситалл;
- смальта;
- цветная стеклянная крошка;
- эрклез (кусковое дробленное стекло) различного цвета.

Интересно сочетание наружного и внутреннего остекления, применения стеклопакетов. В последнее время удачно используются стекло с алюминием и другими цветными металлами. Такие конструкции и их цветовые решения дополняют подсветкой, солнечным освещением, создавая эффектное восприятие.

Фирма "Рус-Свич" производит остекленные *алюминиевые конструкции* с тройным открыванием, адаптированные к холодному зимнему климату России.

Системные стеклоалюминиевые конструкции для фасадов, осуществляемые БАМО-стройматериалами, отвечают требованиям экологии, высокому уровню тепло- и шумозащиты. Для повышения термического сопротивления стекол их покрывают специальными составами, уменьшающими тепловые потери за счет создания дополнительной воздушной теплоизоляции.

Лицевой слой легких навесных панелей целесообразно выполнять из ситалла, шлакоситалла, плакированных стальных, алюминиевых, асбоцементных листов. Эта отделка особенно эффективна в приморских районах, характеризующихся сильными ветрами.

§ 5. Лесные материалы

Отделка лесными материалами весьма разнообразна и ценится текстурой древесины. В первую очередь используются пиленые изделия: доски, рейки, вагонка, плинтуса, накладки и пр. Эти изделия часто покрывают лаками, в том числе цветными, а в случае наружной отделки лак совмещают с составами, предотвращающими гниение - антисептиками, иногда антипиренами.

Древесноволокнистые, древесностружечные плиты, фанера широко используется для отделки потолков и стен. Эти материалы также обрабатываются лаками, лучше бесцветными, позволяющими сохранить и подчеркнуть текстуру дерева различных пород. Эту же функцию выполняют тонкие пластинки шпона, наклеиваемые на древесину менее ценных пород.

Особенно часто применяют лесные материалы для отделки полов паркетом штучным или в виде плит, набранных на заводе. Обычно в жилищном и гражданском строительстве используют породы дуба, ясеня, ореха, липы, красного дерева, граба и многих других видов древесины, создавая уникальные по красоте рисунки.

Глубокая переработка древесины дает возможность получить картон и бумагу, что находит применение в отделке помещений. Гигиенично производить оклейку внутренних помещений бумажными обоями, ассортимент которых огромен. Простые бумажные обои - наиболее распространенный вид оклейки стен. В последнее время появились грубоволокнистые обои из плотного нижнего и гладкого верхнего слоя. Такие обои обычно клеят встык и потом покрывают слоем лака. Моющиеся долговечные обои состоят из двух слоев: бумага или ткань и синтетическое покрытие. Структурные обои состоят из двух полотен бумаги, тесненных еще во влажном состоянии. Изготавливают также металлические, тканевые, велюровые обои, обои из стекловолокна на бумажной основе и др. Нужно выделить также оклеивающие пленки на полимерной основе и самоклеющем основании, применяемые в кухнях, коридорах, сантехузлах.

Для внутренних помещений широко применяется аналогично древесностружечным и древесноволокнистым плитам сухая гипсовая штукатурка, комбинированные гипсокартонные панели с пенополистиролом или минватой, толщиной до 6,5 мм, приклеиваемые на обычные шероховатые поверхности бетона, кирпича и др. Гипсокартонные листы пригодны также для устройства стен, перегородок, потолков, сборного пола. Используются плиты сухой штукатурки на различных связующих на основе гипса, перлита, керамзитового песка, гранулята и другие составы с легкими заполнителями, которые служат для повышения теплоизоляционных и звукопоглощающих свойств отделки ограждений.

С помощью листов и металлического профиля можно смоделировать любую классическую архитектурную форму: карнизы, профили, круглые колонны, своды, арки, купола. Внутренняя облицовка листами из вспененного перхлорвинила придает декоративные, акустические и теплоизоляционные свойства отделке.

Разные деревянные изделия, скульптура из дерева являются большей частью произведениями искусства и используются для отделки интерьеров, включая деревья с интересными пороками, например, свилеватостью, кривизной, различными сучками и т.п.

Одним из эффективных приемов использования отходов и низкокачественной лиственной древесины является ее модифицирование полимерами, повышающее прочность, влаго- и огнестойкость, стойкость к агрессивным средам, формостабильность.

§ 6. Полимерные материалы

Покрытие полов из полимерных материалов в зданиях различного назначения требует ряд специальных свойств: пониженной истираемости, износостойкости и водостойкости при определенной прочности и твердости покрытия. Современным является покрытие полов линолеумом, различными ворсовыми тканями в виде ковров, дорожек. Используются также ковры пылепоглощающие, для влажных помещений, амортизационные, чистящие и др. Для перечисленных покрытий особую важность приобретает отсутствие накопления статического электричества, нескользкость, бесискровость, беспыльность и др.

Аналогичные требования предъявляются к получившим распространение самовыравнивающимся наливным, но трещиностойким

полам различных составов. Они характеризуются высокой технологичностью, получению абсолютно ровной поверхности, не нуждающейся в дополнительной шлифовке и полировке. Наиболее прогрессивными являются составы на основе полимерцементных композиций с суперпластификаторами и модификаторами структуры.

Кроме покрытия полов полимерные материалы используют как:

- декоративные пленки, рулоны для облицовки стен, потолков, встроенной мебели;
- набранные рейки, профили, плинтусы, раскладки;
- плоские и волнистые стеклопластики.

Созданы плоские панели и специальные системы из поликарбоната для легких светопрозрачных конструкций "Метрополитеновец", использующий в частности и клееную древесину.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие материалы применяют для отделки наружных поверхностей зданий и почему?
2. Требования, предъявляемые к отделочным материалам.
3. Основные пигменты строительных красочных составов.
4. Водные красочные составы. Известковые, клеевые, силикатные и другие составы, их свойства и области применения.
5. Виды олиф, их свойства и применение в масляных красочных составах.
6. Полимерные красочные составы. Лаки. Эмали. Их свойства, применение.

Дополнительная литература

1. *Онищенко А.Г.* Отделочные работы в строительстве. - М.: Высшая школа, 1989.
2. *Яковлев А.Д.* Химия и технология лакокрасочных покрытий. - Л.: Химия, 1989.
3. *Калаус Э.Э., Рыжов Д.А.* Новые водоэмульсионные лакокрасочные материалы. - М.: Химия, 1983.

4. *Завражин Н.Н.* и др. Производство отделочных работ в строительстве: (Зарубежный опыт). - М.: Стройиздат, 1987.

5. *Орентлихер Л.П., Логанина В.И.* Защитно-декоративные покрытия бетонных и каменных стен зданий: Справочное пособие. - М.: Стройиздат, 1993.

6. *Логанина В.И., Орентлихер Л.П.* Прогнозирование стойкости защитно-декоративных покрытий цементных бетонов. Пенза, 1995.

7. *Козлов В.В., Ремейко О.А.* Отделка железобетонных и бетонных изделий. – М.: Высшая школа, 1987.

Раздел III. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Глава XIX. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. Общие сведения

Металлические конструкции из черных и цветных (преимущественно алюминия) металлов широко применяются при строительстве зданий и сооружений, особенно при больших пролетах, высоте, нагрузках и антикоррозионных требованиях. Широкое распространение металлоконструкций в строительстве обуславливается их высокой прочностью, надежностью, индустриальностью, скоростью монтажа, легкостью по сравнению с несущими конструкциями из железобетона и камня. Комплексным показателем эффективности применения металлоконструкций является строительный коэффициент, представляющий собой отношение массы металлоконструкций к массе несущих деталей и конструкций всего здания или сооружения. Он характеризует качество конструктивной формы и компоновки несущих конструкций зданий и сооружений не только в отношении расхода материалов, но и трудоемкости их изготовления, сроков возведения и стоимости.

Минимальное значение строительного коэффициента при вариантном проектировании достигается в большинстве случаев при использовании металлоконструкций из низколегированных и высокопрочных сталей и сплавов, а также тонкостенных прокатных - и гнутых профилей, пространственных, предварительно напряженных, висячих, трубчатых и других современных систем.

Алюминиевые сплавы, несмотря на меньшую в 2,7-2,9 раза плотность по сравнению с чугуном и сталью и возможность соответствующего облегчения металлоконструкций, имеют ограниченное применение в несущих конструкциях из-за их недостаточной устойчивости под нагрузкой в связи с меньшим в три раза модулем упругости, существенным снижением прочности при повышенной температуре (выше 100-150°С) и высоким тепловым расширением (табл. 19.1).

Основным видом соединений металлоконструкций является сварка. Однако она вызывает структурные и химические изменения металла в зоне соединения свариваемых элементов, возникновение остаточных напряжений и деформаций, способных вызвать трещинообразование и хрупкое разрушение сварного шва, особенно при ис-

пользовании кипящей стали с повышенным содержанием углерода, серы и фосфора, при крупнозернистой структуре стали и большой толщине свариваемых элементов. Для предотвращения нежелательных последствий сварки используют спокойные или полуспокойные стали и соответствующие электроды; регулируют скорость охлаждения шва теплоизолирующей толщей шлака, флюса.

Таблица 19.1

Сравнительные характеристики стали, чугуна и алюминия

№ п.п	Наименование показателей	Значение
1.	Плотность, кг/м^3:	
	- проката и стальных отливок	7850
	- отливок из чугуна	7200
	- алюминия	2700
2.	Коэффициент линейного температурного расширения, (1/°С):	
	- стали, отливок из чугуна	$1{,}2\cdot10^{-5}$
	- алюминия при температуре от -70°С до +100°С	$2{,}3\cdot10^{-5}$
3.	Модуль упругости, МПа:	
	- прокатной стали и отливок	$2{,}06\cdot10^{5}$
	- отливок из чугуна СЧ15	$0{,}83\cdot10^{5}$
	- то же СЧ20, СЧ25, СЧ30	$0{,}98\cdot10^{5}$
	- алюминия при -70°С	$0{,}735\cdot10^{5}$
	-то же от -40°С до +50-100°С	$(0{,}71\text{-}0{,}65)\cdot10^{5}$
4.	Модуль сдвига, МПа:	
	- прокатной стали и отливок	$0{,}78\cdot10^{5}$
	- алюминия при -70°С	$0{,}274\cdot10^{5}$
	-то же от -40°С до +50-100°С	$(0{,}27\text{-}0{,}26)\cdot10^{5}$
5.	Коэффициент Пуассона	0,3

Во влажной атмосфере, особенно загрязненной агрессивными газами, сталь корродирует. Хорошо сопротивляется коррозии чугун, что объясняется повышенной толщиной чугунных конструктивных элементов, а также тем, что продукты коррозии ферритно-перлитной металлической основы цементируют частицы графита. Этот вид коррозии чугуна называют графитизацией, что характерно для серых и ковких чугунов.

Алюминиевые сплавы обладают значительно бóльшей коррозионной стойкостью, обусловленной наличием на их поверхности прочной оксидной пленки Al_2O_3, однако при неблагоприятных условиях они также корродируют. Не стойки они в морской воде, щелочах, а также среде, содержащей ионы Cl^-, F^-, Br^-, SO_4^- Cu^{2+}; в безводном спирте; при контакте с влажной древесиной (буком), строительными растворами и бетонами. Примеси магния и марганца повышают коррозионную стойкость алюминия.

§ 2. Стальные конструкции

Основными конструктивными формами и назначением стальных конструкций являются: *промышленные здания, каркасы и большепролетные покрытия общественных зданий, мосты и эстакады, башни и мачты, витражи, оконные и дверные заполнения, подвесные потолки* и др.

Первичными элементами строительных конструкций являются:

- сталь листовая - толстая горячекатаная толщиной 4-160 мм, длиной 6-12 м, шириной 0,5-3,8 м, поставляемая в виде листов и рулонов; тонкая горяче- и холоднокатаная, толщиной до 4 мм в рулонах; широкополочная универсальная толщиной 6-60 мм горячекатаная с обработанными, выровненными кромками;

- сталь профильная - уголки, швеллеры, двутавры, тавры, трубы и т.п. (рис. 19.1), из которых компонуются различные симметричные сечения, обеспечивающие повышенную устойчивость и экономичность конструкций;

- трубы горячекатаные бесшовные круглые диаметром 25-550 мм и толщиной стенки 2,5-75 мм для радио- и телевизионных опор;

- трубы электросварные круглые, диаметром 8 - 1620 мм и толщиной стенки 1-16 мм; квадратного и прямоугольного сечения с размерами сторон от 60 до 180 мм и толщиной стенки от 3 до 8 мм. Трубы применяются в конструкциях облегченных кровель, фахверках стен, переплетах, витражах;

- холодногнутые профили, изготовляемые из ленты или полосы толщиной 1 - 8 мм (рис. 19.2). Основная область их применения - легкие экономичные конструкции покрытий зданий.

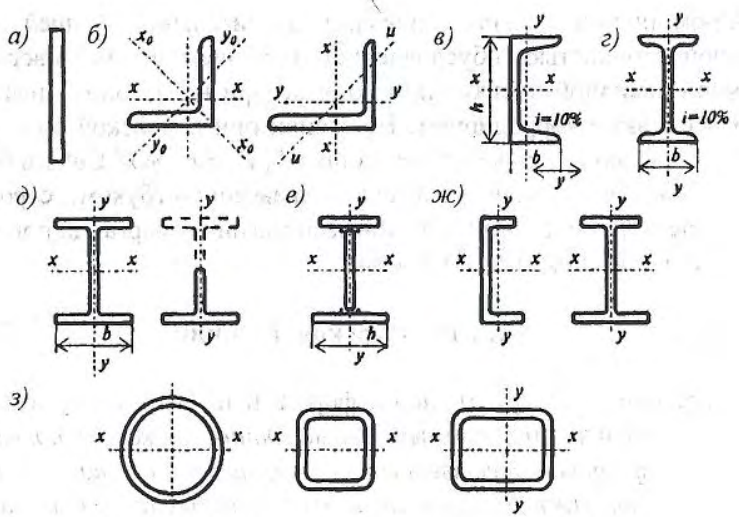


Рис. 19.1. Основные виды прокатных профилей:
а) листовая сталь; *б)* уголковые профили; *в)* швеллер; *г), д), е)* двутавры с разной шириной полки; *ж)* тонкостенные двутавры и швеллеры; *з)* трубы бесшовные и электросварные

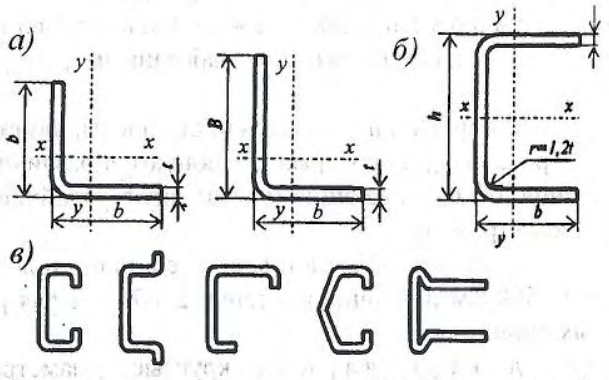


Рис. 19.2. Типы холодногнутых профилей из стальной ленты или полосы толщиной от 1 до 8 мм:
а) неравно- и равнополочные уголки; *б)* швеллеры; *в)* произвольного сечения

- профили разного назначения - оконные, дверные и фонарные переплеты, крановые рельсы, оцинкованный профильный настил, стальные канаты и высокопрочная проволока для висячих и вантовых покрытий, мостов, мачт, предварительно напряженных конструкций покрытий, труб, резервуаров и др.

Перечень прокатных профилей с указанием формы, размеров, массы единицы и допусков называется сортаментом. Наиболее экономичным и в нем являются тонкостенные профили.

Из первичных элементов в заводских условиях изготовляют фрагменты колонн, подкрановых и мостовых балок, ферм, прогонов, арок, цилиндрических и шатровых покрытий, других конструкций, которые затем укрупняются в блоки и монтируются на строительной площадке.

Производство и монтаж металлоконструкций осуществляется специализированными заводами и монтажными организациями, обеспечивающими высокую производительность и качество продукции и монтажа.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации металлоконструкций, степени ответственности зданий и сооружений, рекомендуется применять различные категории сталей с учетом их хладостойкости при расчетных зимних температурах наружного воздуха. Как указывалось в гл.VII, все виды конструкций разделены на 4 группы, требования к которым и соответственно маркам стали уменьшаются от первой к четвертой группе. И если в первых трех из них для основных ответственных конструкций рекомендуются в основном сложнолегированные стали, хорошо свариваемые и хладостойкие, то в четвертой группе для вспомогательных конструкций - рядовые стали ВСт3сп (пс)(кп).

Легирование сталей небольшими количествами меди, фосфора, никеля, хрома (например, сталей первой и второй групп, 15Г2АФДпс, 10ХСНД, 10ХНДП, 12ГН2МФАЮ и др.) особенно эффективно для защиты их от атмосферной коррозии. Способность низколегированных сталей образовывать плотные защитные пленки ржавчины, состоящие из аморфного δ - FeOOH, привело к созданию так называемых картенов. Их применяют для конструкций промышленных зданий, мостов, опор и других конструкций, эксплуатирующихся в атмосферных условиях. Картены не требуют покраски и не корродируют на протяжении всего срока службы конструкций. Защитные свойства пленки усиливаются при периодическом увлажнении - высушивании. Типичный состав картена 0,09% C и P; 0,4% Mn и Cu; 0,8% Cr и 0,3% Ni.

§ 3. Алюминиевые конструкции

Началом применения алюминия* в строительстве можно считать установку алюминиевого карниза на здании Life Building в Монреале в 1896 г. и алюминиевой кровли на двух культовых зданиях в Риме в 1897-1903 гг. При реконструкции городского моста в Питсбурге (США) в 1933 г. впервые несущие элементы проезжей части моста были выполнены из алюминиевых швеллеров и листа, которые успешно эксплуатировались 34 года. В отечественном строительстве алюминиевые конструкции впервые были применены в начале пятидесятых годов в оборудовании исследовательской станции "Северный полюс" и здания альпинистов на Кавказе.

Более широкое применение алюминий получил за рубежом, причем в сфере строительства используется до 27% общего потребления алюминия в этих странах. Производство алюминиевых строительных конструкций в них сосредоточено на крупных специализированных заводах мощностью 30-40 тыс. т в год, обеспечивающих выпуск разнообразной продукции высокого качества.

Наиболее эффективными из них являются: *панели наружных стен и покрытий бескаркасного типа, подвесные потолки, сборно-разборные и листовые конструкции.* Значительная часть экономического эффекта достигается за счет сокращения транспортных и эксплуатационных расходов в связи с повышенной коррозионной стойкостью и легкостью алюминиевых конструкций по сравнению с аналогичными конструкциями из стали и железобетона.

В несущих конструкциях применение алюминия экономически нецелесообразно, за исключением большепролетных покрытий и случаев повышенной агрессивности среды. Это связано с низким модулем упругости алюминия, вследствие чего приходится увеличивать размеры сечений элементов и самих конструкций, чтобы обеспечить их необходимую жесткость и устойчивость. При этом недоиспользуется прочность алюминия. Кроме того, алюминий имеет пониженную цикловую выносливость и температурную стойкость по сравнению со сталью.

Эти недостатки могут быть преодолены (учитывая высокие пластические свойства алюминия) путем создания пространственных, в том числе стержневых и висячих конструкций, применения гнутых элементов, штамповок и гофрированных листов, выполняющих одновременно с ограждающими и силовые функции. На рис. 19.3 и рис. 19.4 представлены основные типы гнутых и прессованных алюминиевых профилей, используемых в различных листовых, панельно-каркасных и других конструкциях.

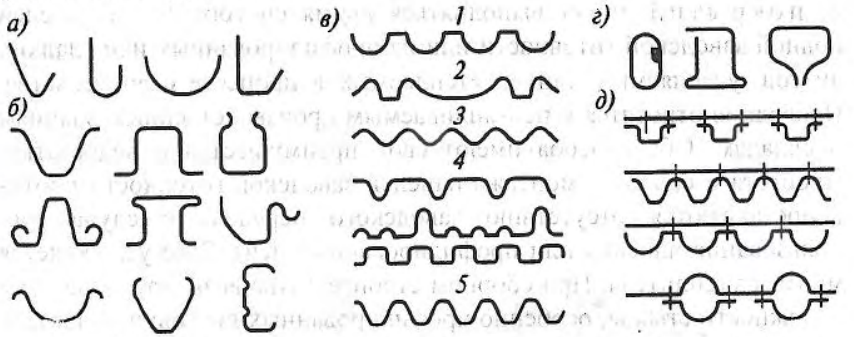


Рис. 19.3. Алюминиевые гнутые профили из листового проката: *а)* открытые простые стержни; *б)* открытые сложные стержни; *в)* гофрированные листы с различной формой гофра (*1* - желобчатый; *2* - мембранный; *3* - волнистый; *4* - ребристый; *5* - корытный; *г), д)* замкнутые многополостные профили

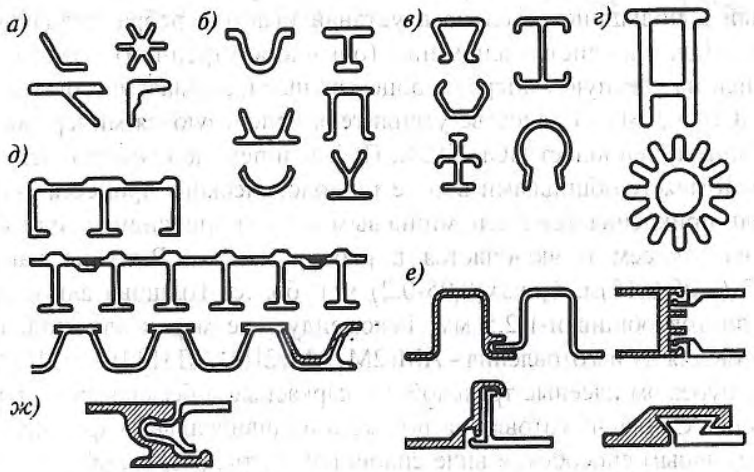


Рис. 19.4. Типы прессованных профилей: *а)* сплошные; *б)* открытые; *в)* полуоткрытые; *г)* полые (замкнутые); *д)* прессованные панели; *е)* замковые соединения парных профилей; *ж)* соединения профилей на защелках

Алюминиевые оконные блоки и витражи по сравнению с деревянными существенного экономического эффекта, в том числе в условиях Крайнего Севера, не дают. Несмотря на это они имеют лучшие функциональные свойства, внешний вид и высокую

* Краткая форма термина «алюминиевые сплавы».

долговечность, предопределяющие целесообразность их широкого применения во всех видах строительства.

Ограждающие алюминиевые конструкции стен и покрытий могут выполняться двумя способами: из панелей полной заводской готовности или из профилированных или гладких листов, утепляемых или не утепляемых в процессе строительства. Последние относятся к неотапливаемым производственным зданиям и складам. Оба способа имеют свои преимущества и недостатки. Простота и скорость монтажа панелей заводской готовности противопоставляются отсутствию заводского передела в случае использования плоских или профилированных лент. Зато усложняется монтаж утеплителя. При сборном строительстве возникает проблема надежности стыков, особенно профилированных листов; при ленточном - монтажа и натяжения лент при больших пролетах.

В отечественном строительстве наибольшее применение пока получил первый панельный способ. Стеновые и кровельные панели обычно состоят из двух тонких гладких или профилированных листов алюминия, между которыми находится утеплитель. По контуру панели в большинстве случаев устанавливаются ребра, создающие каркас. Один из листов алюминия (обычно внутренний) может быть заменен на клееную фанеру, асбоцементные или пластмассовые листы, ДСП и ДВП. В качестве утеплителя используются минераловатные плиты, пенопласт ПСБ, ПВХ, ПСБ-С и пенополиуретан, вспениваемый между обшивками в ходе технологического процесса. Утеплитель приклеивается к алюминиевым листам эпоксидным или каучуковым клеем и включается в работу панели. Размеры панели 6х1,5х(0,05-0,15)м, 6,6х3х(0,05-0,2) м и более. Толщина алюминиевых листов обшивки-1-2,5 мм. Рекомендуемые марки алюминиевых сплавов для их изготовления - АМг2М, АМг2Н2, АД31Т1(4-5), 1915.

За рубежом клееные трехслойные каркасные и бескаркасные панели типа "Сэндвич" готовят на потоке в индивидуальных формах или непрерывным способом в виде сплошной ленты, разрезаемой в конце автоматической линии на изделия заданных размеров. Для повышения атмосферостойкости и улучшения внешнего вида листы алюминия анодируют или окрашивают полимерными составами в разные цвета. Для повышения жесткости и качества панелей алюминиевым листам задается предварительное напряжение, осуществляемое механическим способом. Это позволяет включить обшивку в работу каркаса панели, увеличить расстояние между ребрами, устранить волнистость листов и обеспечить лучший клеевой контакт с утеплителем.

В промышленном строительстве для стен и покрытий широко применяются алюминиевые листы с продольной и поперечной профилировкой. Длина листов 10-30 м и более, ширина - 0,58-1,6 м, толщина - 0,3-1,62 мм. Листы с поперечной профилировкой, типа «Фуррал», Snap-rib, Zip-rib для кровельных покрытий, применяются в строительной практике США, Англии, ФРГ, Швейцарии и других странах. Для этой кровли применяется мягкий алюминиевый сплав АМц. Листы транспортируются в рулонах. На строительстве их раскатывают и крепят к деревянной обрешетке (рис. 19.5, рис. 19.6).

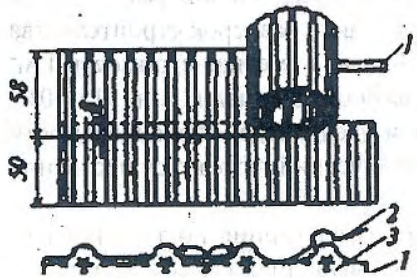


Рис. 19.5. Крепление листов типа "Фуррал" к деревянной обрешетке: *1* - деревянная обрешетка; *2* - листы "Фуррал"; *3* - крепежная полоса

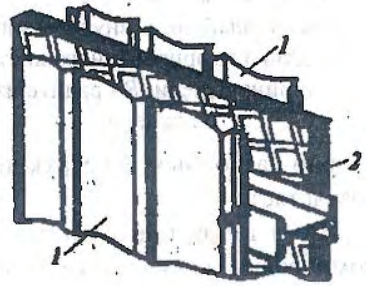


Рис. 19.6. Утепление стенового ограждения из гофрированных листов плитным утеплителем: *1* - гофрированные листы; *2* - утеплитель

Отечественный опыт изготовления листов с поперечной профилировкой отличается от зарубежного полной заводской готовностью рулонного ограждения, включая утепление (рис. 19.7). Особенно эффективны ограждения производственных зданий из гладких предварительно напряженных алюминиевых листов. Стоимость их на 20-30% меньше профилированных, а полезная площадь на 25-35% больше. Утеплитель типа поролона с фактурным слоем, выполняющим роль пароизоляции, наклеивается на листы в заводских условиях или наносится на поверхность листов в процессе их монтажа, как, например, в Италии и Японии, где для этого используется вспениваемый пенополиуретан или вспененный состав на основе битума толщиной 6-8 мм.

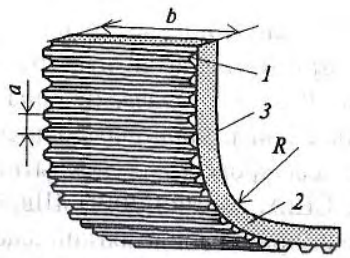


Рис.19.7. Конструкция трехслойной рулонной панели:
1 - гофрированный лист (несущий); *2* - эластичный утеплитель; *3* - декоративный лист (внутренний); *а* - длина гофрированного листа; *б* - ширина панели; *R* - радиус изгиба панели

Сборно-разборные алюминиевые конструкции применяют для строительства производственных, жилых и общественных зданий и поселков городского типа в труднодоступных районах и на Крайнем Севере, куда доставляются авиатранспортом. По сравнению с традиционными материалами и конструкциями масса зданий уменьшается почти в 20 раз, срок строительства в 4 раза, а сметная стоимость 1 м^2 полезной площади - на 15-20%. При увеличении оборачиваемости сборно-разборных конструкций экономический эффект существенно возрастает.

Подвесные потолки из алюминия по технико-экономическим показателям и множеству выполняемых функций (декоративно-акустической, архитектурно-планировочной, вентиляционной, осветительной, санитарно-гигиенической и др.) выгодно отличаются от подвесных потолков из гипса, асбестоцемента, минераловатных плит типа «Агмигран» и других материалов. Они легче, не коробятся, не пылят, не требуют ремонта, поддаются любому формообразованию и цветному анодированию, выполняющему роль антикоррозионной защиты.

Резервуары из алюминия изготовляют двух типов: для хранения жидких агрессивных веществ (сернистой нефти и нефтепродуктов, уксусной, концентрированной азотной и других кислот); для хранения сжиженных газов. Резервуары, построенные в разное время в разных странах, имеют объемы от 500 м^3 до 3500 м^3 и находятся в хорошем состоянии.

Трубопроводы напорные и безнапорные из алюминия марок АМг2М, АД31Т, 1915, 1915Т используются для транспортировки нефти и газа, полупродуктов пищевой и химической промышленности, перекачки строительных растворов и бетонов. Дуралюминиевые трубы диаметром 38-50 мм используют для устройства сборно-разборных лесов и подмостей. Применяют обычно трубы бесшовные и электросварные диаметром до 200 мм. При прокладке в грунтах трубы защищают от коррозии битумно-резиновой мастикой и полимерными материалами.

Практика строительства имеет положительные примеры использования алюминия также в вентиляционных и дымовых трубах для отведения сернистых газов, агрессивных при конденсации по отношению к стали.

Соединения элементов алюминиевых конструкций осуществляются:

- аргонодуговой электросваркой с применением неплавящегося (вольфрамового) и плавящегося электродов;
- электроконтактной сваркой (для тонких листов);
- на заклепках для элементов из упрочненного алюминия и деталей разной толщины. Клепка производится в холодном состоянии во избежание зазоров и интеркристаллитной коррозии, наблюдающихся при горячей клепке;
- на оцинкованных и кадмированных болтах, винтах и прокладках;
- на клею в болтовых соединениях, замках и защелках.

Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях целесообразно применять металлические конструкции в зданиях и сооружениях?
2. Перечислите сравнительные характеристики стали, чугуна и алюминия.
3. Назовите основные виды стальных конструкций и их первичных элементов.
4. Как подразделяются стали по направлениям их использования в различных климатических районах?
5. Перечислите основные конструктивные формы применения алюминия в строительстве; в чем специфика по сравнению с аналогичными по назначению стальными конструкциями?

Дополнительная литература

1. *Беленя Е.И.* и др. Металлические конструкции. - М.: Стройиздат, 1986.
2. *Трофимов В.И.* и др. Алюминиевые конструкции в промышленном строительстве. - М.: Стройиздат, 1972.
3. *Грибов В.И.* и др. Экономическая эффективность и перспективы применения в строительстве конструкций из алюминиевых сплавов. - М.: Стройиздат, 1976.

Глава XX. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. Общие сведения

Железобетон - это **композиционный строительный материал**, в котором соединены в единое целое бетон (матрица) и стальная арматура.

Бетон обладает способностью, присущей большинству искусственных и природных каменных материалов: хорошо работать на сжатие, но плохо сопротивляться растяжению. Так, прочность бетона при растяжении составляет всего лишь около 1/10-1/17 его прочности на сжатие. Поэтому растянутую зону конструкций армируют стальной арматурой, которая воспринимает растягивающие напряжения. Совместной работе бетона и стальной арматуры способствует хорошее сцепление между ними и близость коэффициентов температурного расширения; бетон к тому же защищает арматуру от коррозии.

Железобетонные конструкции изготовляют с *обычной* и *предварительно напряженной* арматурой. Основная идея предварительного напряжения железобетонных конструкций заключается в том, что при изготовлении бетон искусственно обжимается. Благодаря этому бетон растягивается только тогда, когда будут преодолены созданные обжатием сжимающие напряжения. Если они превосходят растягивающие напряжения от нагрузки, то можно избежать образования трещин в бетоне.

Предварительно напряженные железобетонные конструкции более эффективны, чем обычные. В них полнее используется несущая способность арматуры и бетона, поэтому уменьшается масса изделия. Вместе с тем предварительное обжатие препятствует образованию трещин в растянутой зоне.

Железобетонные конструкции подразделяют на *сборные* и *монолитные*. Сборные железобетонные конструкции монтируют на строительной площадке из отдельных элементов, изготовленных на заводах и полигонах. Монолитные железобетонные конструкции бетонируют на месте строительства.

Железобетон был изобретен во Франции в середине прошлого века и начали его применять в сборном варианте - небольшие изделия простого сечения: перемычки оконных проемов, балки, плиты перекрытий. Но затем широко железобетонные конструкции стали применяться в монолите. Впервые железобетон в России применили в 1891 г. на строительстве торговых рядов в Москве (переходные мостики в

здании ГУМа). С конца 20-х годов у нас на стройках использовали как монолитный, так и сборный железобетон. С конца 50-х годов преимущественное развитие получил сборный железобетон, по всей стране были построены специальные заводы по производству различных бетонных и железобетонных изделий и конструкций, иногда в ущерб развития монолитных конструкций. В западных странах предпочтение всегда отдавалось монолитному строительству. В последние годы в России применение монолитного железобетона значительно расширилось.

Каменные конструкции - это один из наиболее древних видов конструкций, чему подтверждение многочисленные архитектурные памятники во многих странах мира. Каменные конструкции долговечны, огнестойки, изготавливаются из местного сырья. К недостаткам надо отнести: большую собственную массу и высокую теплопроводность (плотные материалы), ручной труд для кладки.

Для увеличения несущей способности каменной кладки ее усиливают арматурой. Такую кладку называют армокаменной. Это дает возможность значительно расширить область применения каменных материалов в строительных конструкциях.

§ 2. Изготовление железобетонных конструкций

Изготовление сборных или монолитных железобетонных конструкций включает следующие основные операции: армирование, приготовление бетонной смеси, укладка бетонной смеси и ее уплотнение, твердение.

Армирование

Армирование железобетонных конструкций осуществляют отдельными стержнями, сетками, пространственными каркасами, проволокой. Стержневую горячекатаную арматуру изготовляют гладкой (класс А-I) или периодического профиля (классов А-II, А-III, А-IV и А-V) (рис. 20.1). Лучшими характеристиками обладает горячекатаная арматура периодического профиля классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI, подвергнутая термическому упрочнению. При обозначении класса такой арматурной стали к индексу "А" добавляют индекс "т", стали для конструкций, используемых в районах Севера - "с", например Ат-Шс. Сталь с повышенной стойкостью против коррозионного растрескива-

Таблица 20.1

Характеристики стальной арматуры

Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм	Нормативные значения	
			предела, текучести, МПа, не менее	временного сопротивления разрыву, МПа, не менее
A-I	Ст3сп3	6-40	240	-
A-II	ВСт5сп2	10-40	300	-
	10ГТ	10-32	300	-
A-III	35ГС	6-40	400	-
	25Г2С	6-40	400	-
A-IV	80С	10-18	600	-
	20ХГ2Ц	10-22	600	-
A-V	23Х2Г2Т	10-22	800	-
Ат-IV	-	10-25	600	-
Ат-V	-	10-25	800	-
Ат-VI	-	10-25	1000	-
B-I	-	3-5	-	550
Bp-II	-	3-5	-	550-525
B-II	-	3-8	-	1900-1400
Bp-II	-	3-8	-	1800-1300

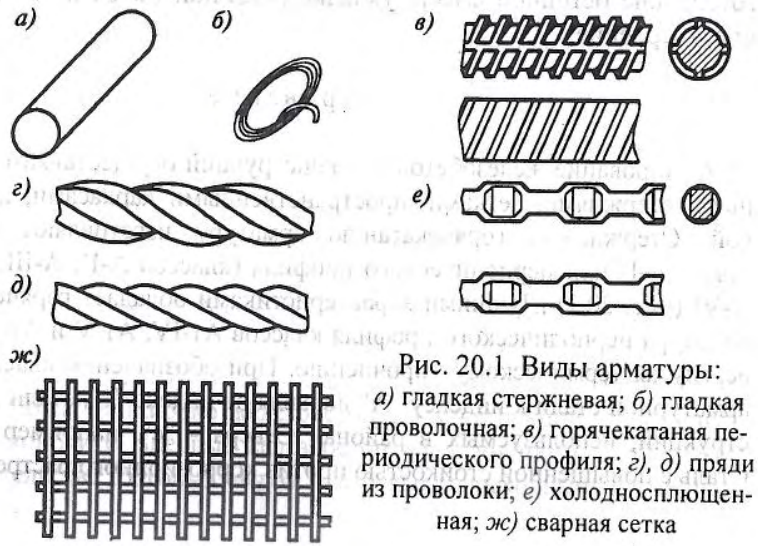


Рис. 20.1. Виды арматуры: *а)* гладкая стержневая; *б)* гладкая проволочная; *в)* горячекатаная периодического профиля; *г), д)* пряди из проволоки; *е)* холодносплющенная; *ж)* сварная сетка

ния обозначают A-IVK-AVIK, термически обработанную свариваемую сталь - AIIIC, AIVC. Арматурная холоднотянутая проволока также может изготовляться гладкой (классов B-I и B-II) либо периодического профиля (классов Bp-I и Bp-II). Высокопрочная проволока класса B-II намного превосходит обыкновенную класса B-I по механическим свойствам. В последнее время в железобетонных конструкциях в качестве ненапрягаемой арматуры предпочтение отдают стержневой арматурной стали классов A-III и Ат-IVC, а также арматурной проволоке Bp-I. К эффективным видам напрягаемой арматуры относятся стержневая арматурная сталь классов A-V, A-VI, Ат-V и Ат-VI, высокопрочная проволока и получаемые из нее арматурные канаты.

Наиболее употребительные виды арматурных сталей и их основные характеристики приведены в табл. 20.1.

Приготовление бетонной смеси

Бетонные смеси приготовляют в бетоносмесительных цехах предприятий сборного железобетона или на автоматизированных бетонных заводах.

Приготовление бетонной смеси должно обеспечить получение однородной массы. Оно состоит из точного дозирования и смешивания исходных материалов. Составляющие материала дозируют по массе (исключение допускается для воды). Применяют дозаторы с автоматическим и ручным управлением - последние для малых бетоносмесительных установок. В автоматических дозаторах с центрального пульта управления осуществляется установка аппаратуры на требуемую массу. Допускаются отклонения при дозировании цемента и воды ±1%, для заполнителей - ±2% (по массе).

Бетоносмесительные машины циклического действия подразделяют на гравитационные и с принудительным смешиванием. Для получения подвижных бетонных смесей применяют гравитационные бетоносмесители, работающие по принципу свободного падения перемешиваемого материала. При вращении барабана смесителя (рис. 20.2) внутренние лопасти захватывают бетонную смесь, поднимают ее, затем бетонная смесь свободно падает с некоторой высоты и при этом перемешивается. Время перемешивания, необходимое для получения однородной бетонной смеси, зависит от емкости барабана и подвижности смеси и составляет: для смесителей емкостью до 500 дм^3

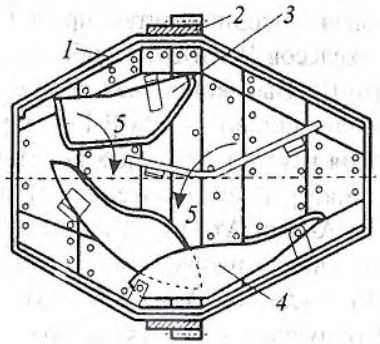


Рис. 20.2. Схема конусного барабана гравитационного бетоносмесителя:
1 - корпус; *2* - обечайка; *3* и *4* - лопасти; *5* - стрелки показывают перемещение бетонной смеси

-1-1,5 мин; емкостью 1200 дм^3 - около 3 мин и емкостью 2400 дм^3 – около 3 мин.

Жесткие бетонные смеси лучше перемешивать в смесителях принудительного действия. В этих смесителях бетонная смесь принудительно перемешивается в смесительной чаше или барабане при помощи смешивающих устройств: лопастей, лопаток, гребков и т.п. Широко применяют два типа бетоносмесителей с принудительным перемешиванием: противоточные с горизонтальной чашей, вращающейся в направлении, противоположном вращению смешивающих устройств, размещенных в горизонтальной плоскости, перемешанная смесь выгружается через люк в днище чаши; роторные турбинного типа с горизонтальной неподвижной чашей и вращающимся в центре ротором, на котором насажены смешивающие устройства, расположенные в горизонтальной плоскости.

Для приготовления растворных и мелкозернистых бетонных смесей используют лопастные и шнековые смесители с приводным горизонтальным валом.

Для жестких мелкозернистых смесей с низкими В/Ц эффективно виброперемешивание, при котором частицы совершают колебательные движения.

Бетоносмесители непрерывного действия требуют меньших удельных затрат электроэнергии и имеют значительно большую производительность (30, 60, 120 м^3/ч бетонной смеси) по сравнению с гравитационными смесителями циклического действия.

Автоматизация бетонных заводов основана на применении автоматических дозаторов, а также на программном управлении всеми стадиями процесса перемешивания. Предусматривается оптимизация с помощью ЭВМ состава бетона и режима работы соответственно

программе, базирующейся на информации о качестве сырья и ходе технологического процесса.

Бетонный завод должен выдать на каждую партию бетонной смеси паспорт, в котором указывается марка бетона, удобоукладываемость бетонной смеси и др.

Формование и уплотнение бетонной смеси

В результате уплотнения бетонная смесь заполняет форму или опалубку, причем уплотненная бетонная смесь должна иметь однородное строение и минимальный объем воздушных пустот; после уплотнения остается не более 2-3% воздуха (т.е. 20-30 дм^3 на 1 м^3 бетона).

Для получения плотного бетона необходимо, чтобы удобоукладываемость бетонной смеси соответствовала принятому способу и интенсивности уплотнения. При сильном механическом уплотнении (рис. 20.3) жесткие бетонные смеси укладываются плотно. В результате повышается прочность бетона (при сохранении одинакового расхода цемента).



Рис.20.3. Влияние интенсивности уплотнения на прочность бетона:
1 - сильное уплотнение; *2* - слабое уплотнение

Основным способом уплотнения бетонных смесей является **вибрирование**. При вибрировании частые колебания, создаваемые вибратором, вызывают колебательные движения частиц бетонной смеси. Силы внутреннего трения и сцепления между частицами уменьшаются, зерна заполнителей укладываются компактно, промежутки между ними заполняются цементным тестом, а пузырьки воздуха вытесняются наружу.

Плотность укладки бетонной смеси контролируют по величине **коэффициента уплотнения**, который равен отношению фактической плотности свежеуплотненного бетона к его расчетной плотности. Уплотнение считается "полным" при коэффициенте уплотнения 0,98-1.

Для каждой бетонной смеси имеется своя оптимальная интенсивность вибрирования, которая достигается правильным сочетанием амплитуды и частоты колебаний.

На заводах сборных железобетонных изделий жесткие бетонные смеси эффективно уплотнять на стационарных низкочастотных резонансных виброплощадках с амплитудой 0,7 мм и частотой 25-30 Гц; к тому же уровень шума при работе низкочастотных виброплощадок сравнительно невысок. Для виброуплотнения подвижных и мелкозернистых бетонных смесей оптимальные амплитуды уменьшаются до 0,15-0,4 мм; соответственно необходимой интенсивности увеличивается частота колебаний до 50-150 Гц.

При принятых параметрах вынужденных колебаний для каждой бетонной смеси имеется своя критическая продолжительность виброуплотнения.

В зависимости от рода привода и движущей энергии различают электромеханические, электромагнитные и пневматические вибраторы.

Применяют главным образом вибраторы, приводимые в действие электродвигателем; колебания создаются механическим путем в результате вращения неуравновешенных грузов (эксцентриков или дебалансов), которые могут быть расположены непосредственно на оси ротора двигателя либо соединены с ним при помощи гибкого вала. Рабочая часть вибратора выполняется в виде площадки (виброплощадки, переносные поверхностные вибраторы), или наконечника (штыка, булавы и т.п.).

Для формования сборных железобетонных изделий широко используют стационарные виброплощадки различной грузоподъемности.

Переносные вибраторы применяют при изготовлении изделий (в особенности крупноразмерных) на стендах, а также для уплотнения монолитного бетона на строительной площадке.

Переносной поверхностный вибратор (рис.20.4) применяют при бетонировании плоских конструкций (плит, полов, дорожных покрытий), а глубинные вибраторы и с гибким валом - при изготовлении сборных железобетонных конструкций в неподвижных формах и бетонировании монолитных конструкций.

Для уплотнения бетонных смесей, укладываемых в массивные (например, гидротехнические) сооружения, применяют перемещаемые краном пакеты внутренних вибраторов. Они позволяют устра-

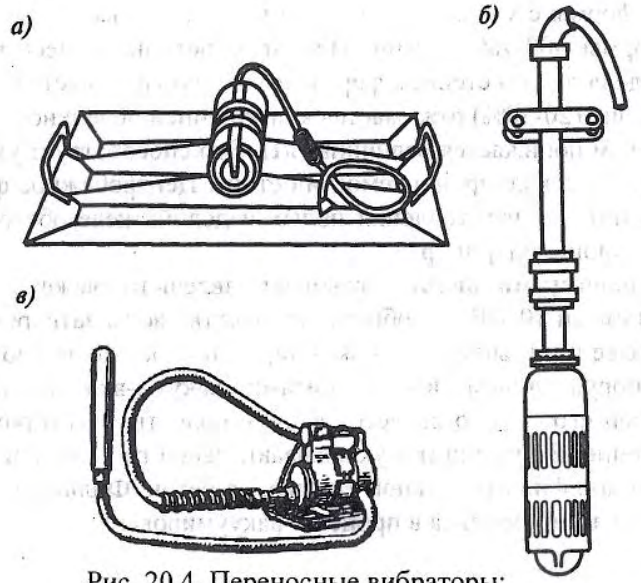


Рис. 20.4. Переносные вибраторы:
а) поверхностный, *б)* глубинный; *в)* с гибким валом

нить ручной труд, применять малоподвижные бетонные смеси (с осадкой конуса 0-2 см) и сильно увеличивать толщину слоя бетонирования. Этот способ уплотнения используют также для укладки камнебетона.

На практике часто используют *комбинированные способы* уплотнения бетонной смеси. Так, при формовании железобетонных изделий из жестких бетонных смесей применяют *вибрирование под нагрузкой.* При величине прессующего давления поверхности изделия 0,05-0,15 МПа можно способом вибропрессования плотно уложить особо жесткие бетонные смеси с количеством воды затворения 120-130 кг/м^3 и В/Ц = 0,3-0,35.

Виброштампование часто применяют для формования коробчатых и ребристых плит, лестничных маршей со ступеньками и других профилированных изделий. Бетонная смесь, уложенная в форму, формуется и уплотняется при помощи погружаемого в нее виброштампа.

Вибропрокат осуществляется на специальных вибропрокатных станах. Этим способом изготовляют изделия из тяжелого и легкого бетонов (например, вибропрокатные керамзитобетонные панели).

При **центробежном способе формования** для уплотнения бетонной смеси используют центробежную силу, возникающую при вра-

щении формы с уложенной в нее бетонной смесью. Скорость вращения формы 400-900 об/мин. При этом бетонная смесь равномерно распределяется по стенкам формы и хорошо уплотняется. Часть воды затворения (20-30%) отжимается к внутренней поверхности изделия и тем самым понижается величина В/Ц. Это способствует уменьшению пористости и водопроницаемости бетона. Центробежное формование применяют для изготовления полых изделий: железобетонных труб, полых колонн, опор и др.

Вибровакуумирование позволяет извлечь из свежеуложенной бетонной смеси 10-20% от общего количества воды затворения и получить более плотный бетон. Вакуумирование осуществляют специальным оборудованием (вакуум-щитами, вакуум-вкладышами и т.п.). Основной его частью является вакуум-полость, в которой создается разрежение. Вакуум-щиты укладывают своей рабочей поверхностью, снабженной фильтровальной тканью, на бетон. Фильтр предотвращает отсос частиц цемента в процессе вакуумирования.

Твердение бетона

Различают *естественное* и *искусственное* твердение бетона. Естественное твердение можно ускорить, применяя быстротвердеющие цементы, жесткие бетонные смеси, добавки-ускорители твердения. Искусственное твердение - так называемая температурно-влажностная обработка, применяемая в заводских условиях.

Для получения 70% прочности надо было бы выдерживать изделия в формах в нормальных условиях не менее 7 сут, что потребовало бы громадного количества форм, большого увеличения производственных площадей. Поэтому одной из главных задач в технологии бетона является усовершенствование существующих и разработка новых методов ускорения твердения бетона.

Широко применяют методы тепловой обработки бетона, которые дают возможность повысить температуру бетона при обязательном сохранении его влажности. В результате увеличивается скорость химических реакций взаимодействия цемента с водой и значительно повышается начальная (суточная) прочность бетона.

На заводах сборного железобетона чаще всего применяют прогрев изделий при атмосферном давлении в паровоздушной среде с температурой 80-85°С или выдерживание в среде насыщенного пара при 100°С. Стремятся применять насыщенный пар, чтобы исключить высыхание бетона и создать условия, благоприятствующие гидратации цемента.

Пропаривание при нормальном давлении осуществляют в пропарочных камерах периодического или непрерывного действия. В первом случае отформованные изделия, находящиеся в формах или поддонах, загружают в камеру с крышкой, которая имеет водяной затвор, препятствующий потере пара. В камеру подают пар, и температура постепенно (со скоростью 15-20°С/ч) повышается до максимальной (80-100°С). При этом изделия прогреваются на всю толщину. Затем дается изотермическая выдержка, после которой изделия медленно охлаждаются. Постепенный подъем температуры и постепенное охлаждение обеспечивают более полную гидратацию цемента и предотвращают появление трещин в изделиях. Продолжительность пропаривания зависит от химико-минералогической характеристики цемента и состава бетона: для изделий из подвижных бетонных смесей - 4-8 ч. Режим пропаривания устанавливают после опытной проверки.

Прочность пропаренного бетона (т.е. примерно через 1 сут после изготовления) составляет около 65-75% от марки. Следовательно, пропаривание при нормальном давлении ускоряет твердение бетона примерно в 7-8 раз.

Различают туннельные (горизонтальные) и вертикальные камеры тепловой обработки непрерывного действия. Формы-вагонетки с отформованными изделиями в этих камерах последовательно проходят три зоны: подогрева, изотермической выдержки и охлаждения. В этих камерах процесс тепловой обработки изделий осуществляется с использованием принципа противотока. Пар поступает в верхнюю зону камеры (зону изотермического прогрева) через перфорированную трубу. Холодные изделия движутся вверх навстречу все более горячей паровоздушной среде. После прохождения зоны изотермического прогрева изделия опускаются вниз и постепенно охлаждаются.

Для изделий из ячеистых бетонов весьма эффективно **запаривание в автоклаве** (см. рис. 9.3), осуществляемое насыщенным паром высокого давления (0,8-1,3 МПа) с температурой 175-200°С.

При **электропрогреве** в качестве источника тепла используют электрическую энергию. Для прогрева бетона применяют трехфазный переменный ток нормальной частоты (50 Гц). Постоянный ток не пригоден, так как он вызывает разложение (электролиз) воды. Распределение тока в уложенном бетоне осуществляется через металли-

ческие электроды, располагаемые или на поверхности бетона (пластинчатые, полосовые), или внутри него (внутренние стержневые и струнные).

Значительный эффект дает применение кратковременного (в течение 5-10 мин) **электроразогрева** бетонной смеси до температуры 80-90°С в специальных бункерах током напряжения 380 В. Предварительно разогретую смесь укладывают в формы и уплотняют. Выделение тепла при гидратации цемента способствует поддержанию повышенной температуры твердеющего бетона и ускорению его твердения.

Способ предварительного электропрогрева смеси успешно применяют при зимних бетонных работах.

Обработка лучистой энергией эффективна для тонкостенных полых изделий. Излучатели инфракрасных лучей в виде нагревательных устройств, обогреваемых электрическим током или газом, помещают в пустоты изделий. Стенки изделия поглощают лучистую энергию, которая аккумулируется в бетоне в виде тепла.

Добавки (хлористого кальция, хлористого натрия, кальцинированной соды, растворимого стекла) ускоряют процессы твердения цемента. Дозировка хлористого кальция составляет 1-2% от массы цемента (считая на безводную соль). Увеличение добавки хлористого кальция может привести к коррозии стальной арматуры, а также к появлению высолов на поверхности бетона. Добавка хлористого кальция в 2-4 раза увеличивает начальную прочность бетона (в возрасте до 3 сут), а прочность бетона в возрасте 28 сут остается примерно той же, что и без добавки. При введении хлористого кальция надо учитывать, что он оказывает пластифицирующее действие на бетонную смесь и дает возможность на 5-6% уменьшить количество воды затворения, а соответственно и расход цемента при изготовлении бетона.

Комплексное использование методов ускорения твердения бетона дает наибольший технико-экономический эффект.

§ 3. Применение бетонов в сборных железобетонных конструкциях

Основное направление промышленности сборного железобетона - производство унифицированных конструкций и деталей для жилищного и промышленного строительства.

Для сборных железобетонных конструкций применяют все основные виды бетона: тяжелый, легкий на пористых заполнителях и ячеистый. Бетоны часто применяют в сочетании с материалами специального назначения (теплоизоляционными, звукоизоляционными, гидроизоляционными и антикоррозионными), которые значительно улучшают эксплуатационные качества сборных конструкций и повышают их долговечность.

Из сборного железобетона изготовляют все части здания: фундаменты, стены подвалов, наружные и внутренние стены, элементы каркаса и покрытий, междуэтажные перекрытия, лестницы и др. (рис. 20.5).

Наружные стены крупнопанельных зданий могут быть однослойными из легкого бетона и трехслойными - из легкого или тяжелого бетона с внутренним теплоизоляционным слоем (из минераловатных плит, пеностекла и др.).

На междуэтажные перекрытия в крупнопанельных жилых домах расходуется значительная часть сборного железобетона (около 30%). Применение в междуэтажных перекрытиях легкого бетона снижает массу здания, при этом улучшается звукоизоляция.

Разработаны проекты промышленных зданий, возводимых из сборного железобетона. Тонкие предварительно напряженные пластины длиной 12-30 м, изготовляемые методом непрерывного армирования, используют в висячих большепролетных конструкциях зданий и сооружений. Пластины можно искривлять без трещин, создавая из них разнообразные покрытия.

Производство железобетонных и бетонных сборных конструкций может быть организовано двумя принципиально отличными способами: поточным в перемещаемых формах или на перемещаемых поддонах; стендовым в стационарных (неперемещаемых) формах.

При *поточном способе* все технологические операции (очистка и смазка форм, армирование, формование, твердение, распалубка) выполняются на специализированных постах, которые оборудованы стационарными машинами и установками, образующими поточную

технологическую линию. Формы с изделиями последовательно перемещаются по технологической линии от поста к посту.

Поточный способ изготовления сборных железобетонных конструкций может быть поточно-агрегатным и конвейерным.

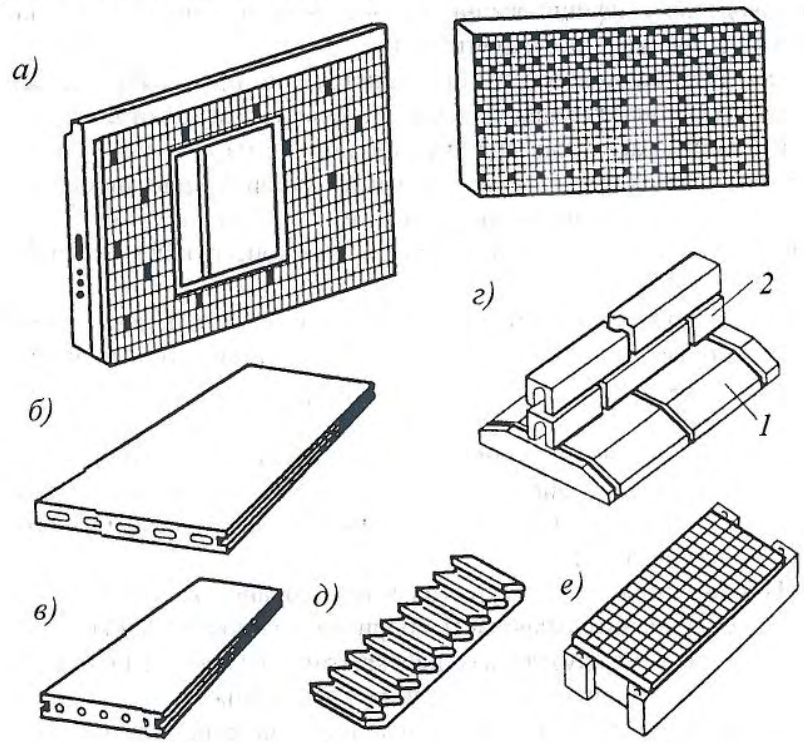


Рис. 20.5. Некоторые виды сборных железобетонных изделий:
а) стеновые панели с различной наружной облицовкой; *б), в)* панели перекрытий с овальными и круглыми пустотами; *г)* элементы сборных фундаментов; *1* - фундаментный блок; *2* - блок стен подвала; *д), е)* лестничный марш и лестничная площадка

При *поточно-агрегатном способе* формы и формуемые изделия перемещают от поста к посту краном с интервалом времени, зависящим от длительности операции на данном посту, которая может колебаться от нескольких минут (например, смазка форм) до нескольких часов (твердение изделий в пропарочных камерах). Поточно-агрегатный способ использует на заводах средней мощности (с годовой производительностью около 60-100 тыс. м^3 изделий), в особенности при выпуске изделий широкой номенклатуры.

Конвейерный способ применяют на заводах большой мощности при выпуске однотипных изделий. При этом способе технологическая линия работает по принципу пульсирующего конвейера, т.е. формы с изделиями перемещаются от поста к посту через строго определенное время (например, через 15 мин), необходимое для выполнения самой длительной операции.

При *стендовом способе* производства в отличие от поточно-агрегатного и конвейерного сборные конструкции изготовляют в стационарных формах. Изделия в процессе их изготовления и до затвердевания бетона остаются на месте, в то время как технологическое оборудование для выполнения отдельных операций последовательно перемещается от одной формы к другой. Стендовый способ применяют при изготовлении изделий большого размера (ферм, балок и т.п.) для промышленного, мостового и гидротехнического строительства. Для формования изделий сложной конфигурации (лестничных маршей, ребристых плит и т.п.) применяют матрицы, т.е. железобетонные формы, воспроизводящие отпечаток ребристой поверхности изделия.

При *кассетном способе*, являющемся разновидностью стендового, изделия изготовляют в вертикальных формах-кассетах, представляющих ряд отсеков, образованных стальными стенками. В кассетной установке происходит формование изделий и их твердение. Кассетная установка имеет специальные устройства для обогрева изделий паром или электрическим током, что значительно ускоряет твердение бетона. Кассетный способ применяют для массового производства плоских тонкостенных изделий (панели внутренних и наружных стен и т.п.).

Метод комплексного строительства домов осуществляется домостроительными комбинатами (ДСК). Домостроительный комбинат выпускает по единому графику комплекты деталей и узлов дома, доставляет их к сборочной (строительной) площадке специализированным транспортом, минуя заводские и построечные склады; непосредственно с транспортных средств производит сборку (монтаж) дома; выполняет силами специализированных бригад все отделочные работы.

§ 4. Применение бетонов в монолитных железобетонных конструкциях

Монолитный железобетон позволяет создавать разнообразные архитектурные формы и конструктивные решения зданий и сооружений (рис. 20.6), не ограниченные сборными типоразмерами изделий.

Монолитные конструкции сооружают в основном из тяжелого бетона или легкого бетона на пористых заполнителях. Стены жилых зданий возводят и из ячеистого бетона. В защитных монолитных конструкциях применяют специальные бетоны: особо тяжелый, жаростойкий, кислотоупорный и др.

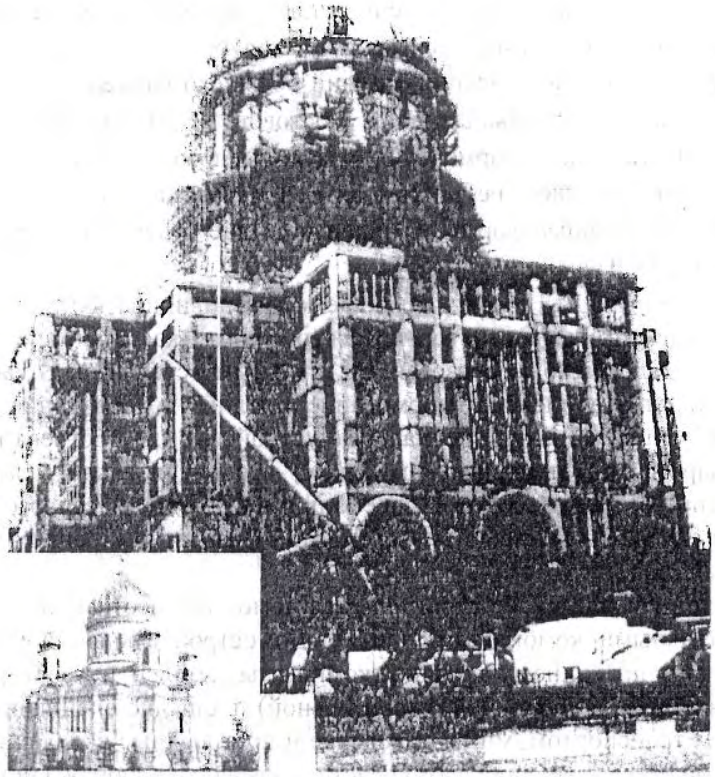


Рис. 20.6. Монолитный железобетонный каркас воссозданного Храма Христа Спасителя в Москве

Арматуру, как правило, изготовляют в арматурно-сварочных цехах или на заводе в виде укрупненных элементов - сварных сеток и блоков-каркасов.

Предусматривается автоматизация приготовления бетонной смеси, комплексная механизация ее транспортировки и уплотнения. Бетонную смесь транспортируют так, чтобы она не расслаивалась и не изменяла свой состав, вследствие попадания атмосферных осадков или чрезмерного испарения воды при действии ветра и солнечных лучей.

Бетонную смесь перевозят автосамосвалами, при дальней же перевозке используют автобетоносмесители. Сухие компоненты загружают в барабан автобетоносмесителя на центральной дозировочной установке, а приготовляют бетонную смесь за 5-10 мин до прибытия к месту работ. В автобетоносмесителях перевозят и готовые бетонные смеси, что позволяет сохранить их однородность, используя повторное перемешивание.

Транспортирование бетонных смесей на строительной площадке осуществляют кранами, транспортерами и по трубам с помощью бетононасосов или пневмонагнетателей. Пневматический способ отличается простотой и позволяет подавать бетонные смеси сжатым воздухом по трубам на расстояние до 150 м.

Бетонирование монолитных конструкций производят непрерывно или с перерывами, т.е. участками или блоками. Непрерывную укладку бетона осуществляют в том случае, когда требуется повышенная монолитность и однородность бетона и поэтому нежелательно наличие рабочих швов. Это относится к предварительно напряженным железобетонным конструкциям, фундаментам, воспринимающим динамические усилия от оборудования и т.п. (рис. 20.6).

Массивные сооружения (плотины, шлюзы, массивные фундаменты и т.п.) разрезают рабочими швами на блоки. Объем блока устанавливают с учетом возникающих в бетоне температурных и усадочных напряжений.

Бетонную смесь подают так, чтобы не было расслоения, поэтому бетонная смесь поступает к месту укладки по вертикальным "хоботам", виброжелобам и наклонным лоткам, при этом высота свободного падения смеси не должна превышать 2 м.

Бетонную смесь укладывают слоями, толщину которых устанавливают с учетом ее хорошего уплотнения вибраторами. При внутреннем вибрировании наибольшая толщина слоя составляет 1,25 длины рабочей части вибраторов, при поверхностном вибрировании не превышает 12-25 см. Шаг перестановки внутренних вибраторов не должен превышать полутора радиусов их действия.

Уход за бетоном начинают сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси и продолжается в течение всего периода выдерживания бетона до достижения им проектной прочности. Качество бетона зависит от ухода за ним, целью которого является создание и поддержание температуро-влажностных условий, благоприятных для гидратации цемента. В летнее время поверхность свежеуложенного бетона должна быть защищена от высыхания, а в первые часы твердения и от дождя. Для этого открытые горизонтальные поверхности по окончании бетонирования засыпают слоем влагоемкого материала-песка, опилок, шлака или покрывают мешковиной, пленками. В сухую погоду покрытие поддерживают во влажном состоянии до достижения бетоном не менее 70% проектной прочности. Вертикальные поверхности опалубки защищают от высыхания, периодически увлажняют. После снятия опалубки вертикальные поверхности бетонных сооружений поливают водой.

В районах с сухим жарким климатом предусматривают мероприятия, сохраняющие влагу в бетонной смеси: применяют пленкообразующие составы, отражающие солнечные лучи, укрывают полимерными пленками, заливают горизонтальные поверхности водой и др.

Для бетонирования в зимних условиях в нашей стране разработаны специальные способы, направленные на то, чтобы обеспечить нормальный режим твердения бетона: закрывают опалубку утеплителем - "метод термоса", что сохраняет тепло, выделяемое при гидратации цемента, подогревают заполнитель и воду, применяют различный прогрев бетонной смеси, вводят добавки хлористых солей натрия и кальция и др.

Сборно-монолитные конструкции представляют собой заранее изготовленные сборные элементы и дополнительно уложенные на месте строительства монолитный бетон (бетон омоноличивания) и арматуру. После приобретения монолитным бетоном прочности такая конструкция работает как единое целое, в случае обеспечения надежного сцепления нового и старого бетона (рис. 20.7).

Конструктивное сочетание сборных элементов и монолитного бетона во многих случаях является экономически выгодным, так как

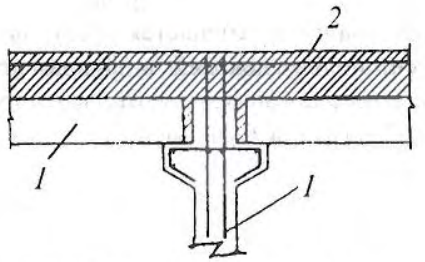


Рис. 20.7. Сборно-монолитное перекрытие:
1 - сборные элементы (старый бетон); *2* - монолитный бетон (новый бетон)

сборно-монолитные конструкции, объединяя достоинства тех и других, лишены некоторых их недостатков. Для возведения сборно-монолитных конструкций в отличие от монолитных не требуется специальной опалубки, подмостей и лесов. Поэтому монолитный бетон сборно-монолитных конструкций дешевле бетона монолитных конструкций, а также пропаренного бетона сборных элементов. В сборных элементах сборно-монолитных конструкций весьма эффективно применение предварительно напряженной высокопрочной арматуры. Установкой дополнительной арматуры в опорных участках монолитного бетона легко обеспечивается неразрезность соединений элементов.

§ 5. Каменные конструкции

В настоящее время для каменных конструкций применяют главным образом искусственные каменные материалы: кирпич керамический и силикатный, блоки, камни из тяжелого и легкого, ячеистого бетона, в отдельных случаях применяют и природный камень. Соединяются они строительными растворами. Выбор каменных материалов определяется экономическими соображениями, что связано с капитальностью здания, прочностью, теплотехническими требованиями и др. Наиболее распространенными каменными конструкциями являются фундаменты (см. рис. 20.5, г), наружные и внутренние стены.

Обыкновенный, утолщенный и модульный полнотелый кирпич пластического прессования применяется при возведении наружных и внутренних стен, полов, цоколей и фундаментов. Полнотелый кирпич полусухого прессования, пустотелые кирпич и камни не применяются для устройства фундаментов и цоколей ниже уровня гидроизоляции.

Своеобразие структуры и механизма формирования керамического черепка полусухого прессования обуславливает его пониженное сопротивление изгибу, повышенную водо- и газонепроницаемость.

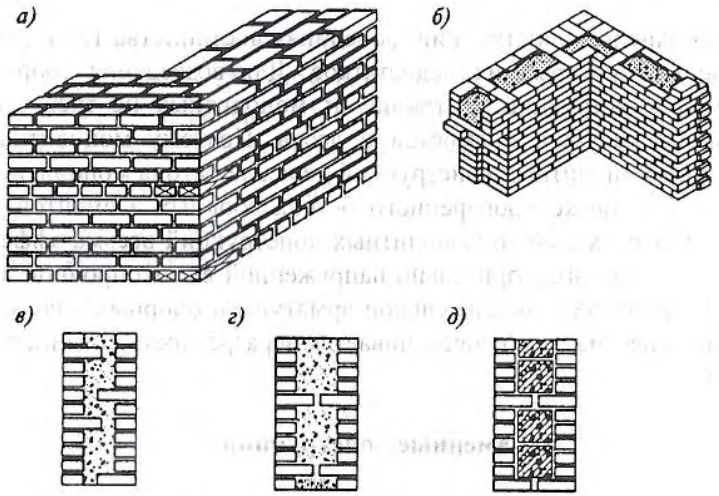


Рис. 20.8. Виды кладки:

а) сплошная; *б)* облегченная; *в)* облегченная кирпично-колодцевая; *д)* облегченная кирпично-колодцевая блочная

В зависимости от используемого материала кладку стен различают: кирпичную, сплошную и облегченную, мелкоблочную (рис. 20.8). Толщина сплошных стен принимается кратной размерам кирпича: 0,5; 1,0: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 кирпича.

Прочность каменной кладки зависит от прочности и деформативности камня и раствора; размеров камней и их формы; удобоукладываемости (подвижности) раствора; степени заполнения им вертикальных швов; сцепления раствора с камнем; качества кладки, обусловленного квалификацией каменщика, и другими факторами.

Даже в центрально-сжатой кладке каждый кирпич опирается на

раствор не всей поверхностью, а ее отдельными участками (рис. 20.9). Это объясняется тем, что поверхность кирпича не является ровной, а раствор по длине шва имеет неодинаковую плотность и толщину. В результате давление неравномерно распределяется по нижней и верхней поверхности кирпича, вызывая в нем напряжения изгиба, скалывания, внецентренного сжатия. Оптимальная толщина шва принимается 12 мм.

Вследствие возникающего в кладке сложного напряженного состояния прочность ее существенно меньше сопротивления камня сжатию. Например, прочность кирпичной кладки на слабых растворах составляет лишь 10...15% прочности кирпича, а при прочных растворах — 30...40% этого значения. Высокого качества кладки с равномерным и плотным заполнением швов раствором можно достичь применением вибрирования кладки. В этом случае прочность может быть повышена в 1,5...2 раза по сравнению с обычной кладкой.

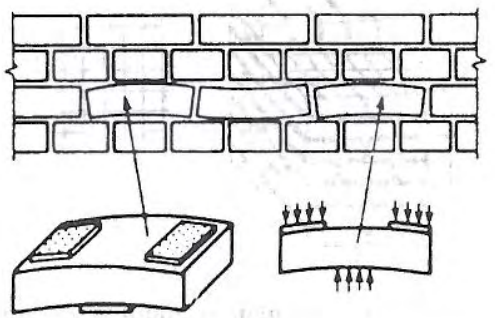


Рис. 20.9. Деформирование кирпича в каменной кладке

Большое значение для прочности кладки имеет степень заполнения вертикальных швов и правильная их перевязка. Вертикальные швы, обычно не полностью заполненные раствором, нарушают монолитность кладки, являясь как бы вертикальными щелями, у концов которых возникают концентрации напряжений и появляются местные вертикальные трещины.

Для повышения несущей способности каменных конструкций применяют следующие способы их армирования: *поперечное* (сетчатое) - с расположением арматурных сеток в горизонтальных швах кладки (рис. 20.10); *продольное* — с расположением арматуры снаружи кладки под слоем цементного раствора или в бороздах, оставляемых в кладке с последующей заделкой их раствором; *армирование посредством включения в кладку железобетона* - комплексные кон-

струкции; *усиление посредством заключения кладки в железобетонную или металлическую обойму из уголков.*

Повышение несущей способности сжатой кладки, усиленной сетчатым армированием, происходит вследствие того, что арматурные стержни, включаясь в работу на растяжение, препятствуют расширению кладки в поперечном направлении. В центрально-сжатой кладке сетчатое армирование используется более эффективно, чем продольная арматура, взятая в том же количестве.

Сетки изготовляют из стали классов А-I или Вр-I диаметром 3...8 мм, причем при наличии пересечении арматуры в швах диаметр стержней должен быть не более 6 мм. Это ограничение связано с тем, что толщина шва в кладке должна быть не более 10...12 мм, но при этом превышать толщину сетки не менее чем на 4 мм. Расстояние между стержнями (C_1, C_2) должно быть не более 12 и не менее 3 см.

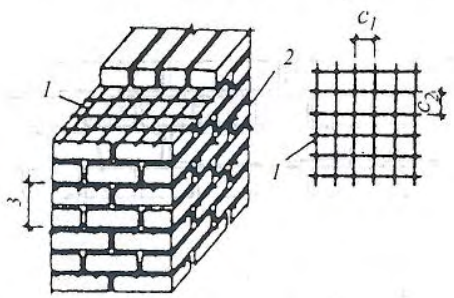


Рис. 20.10. Сетчатое армирование каменных конструкций:
1 - прямоугольная арматурная сетка; *2* - выпуск арматурной сетки для контроля ее укладки

§ 6. Вторичное использование материала каменных, бетонных и железобетонных конструкций

Использование при новом строительстве материалов других, разрушаемых сооружений известно давно. Например, мраморная облицовка пирамиды Хеопса в Египте была снята и пошла на строительство мечети Мухаммеда Али в Каире в начале XIX века. Для строительства собора Святого Петра в Риме выламывался камень из древнего Колизея. При строительстве нового здания Государственной библиотеки, первых станций московского метрополитена применялся мрамор взорванного храма Христа Спасителя, который сейчас воссоздан. Однако в данном случае имеется в виду использование материала зданий, отслуживших свой срок, или некондиционных конструкций. При замене жилого фонда старых серий домов

(например, «пятиэтажек») на новые, при отходах на предприятиях-изготовителях сборного железобетона, в случае стихийных бедствий и чрезвычайных обстоятельств образуются огромные объемы бетона и железобетона (бетонного лома), а также кирпича и камня. Кирпич используется в качестве щебня, естественный камень также может быть переработан на щебень или использован по прежнему назначению. Первый опыт в этом был получен после второй мировой войны при разборке разрушенных зданий.

В странах ЕЭС, США и Японии по прогнозам к 2000 г. объем бетонного лома достигнет 360 млн. т в год. В США более десяти лет ежегодно перерабатывают свыше 20 млн. т. По данным ряда американских фирм, при получении щебня из бетона расход топлива в 8 раз меньше, чем при его добыче в природных условиях, а себестоимость бетона на вторичном щебне снижается до 25%.

Вместе с тем имеются данные, что дробленый заполнитель характеризуется более низкой прочностью по сравнению с природным, на зернах щебня остается растворная составляющая и поэтому бетон на его основе имеет более низкую прочность на сжатие. Но накопленный опыт показывает, что за счет применения рациональных технологий переработки бетонного лома и использования современного оборудования, позволяющего подвергать его специальной обработке, заполнитель из дробленого бетона может быть конкурентоспособен с природным щебнем.

Переработка бетона и железобетона организуется на специализированных технологических линиях для получения товарного щебня и высвобождения арматурной стали. Основными установками при этом служат дробильные агрегаты различного типа.

В целом применение бетонного лома решает большую экономическую и экологическую задачу.

Вопросы для самоконтроля

1. Как влияет виброуплотнение на структуру бетонной смеси?
2. Выберите способы ускорения твердения бетона и железобетонных изделий, не ухудшающие структуру бетона и его качество (прочность, морозостойкость и др.).
3. Железобетон как композиционный материал, назначение (функция) и взаимодействие бетона (матрицы) и арматуры; защитная роль бетона по отношению к стальной арматуре.

4. Железобетон как универсальный материал (укажите типы изделий и конструкций), его конкурентоспособность при сравнении с металлическими и деревянными конструкциями.

5. Укажите специфику применения бетона в сборных, монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкциях.

Дополнительная литература

1. Ресурсо- и энергосберегающие конструкции и технологии. Материалы конференции по бетону и железобетону. - Казань, 1988.

2. *Баженов Ю.М., Комар А.Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий. - М., 1994.

3. *Гусев Б.В., Загурский В.А.* Вторичное использование бетонов. - М., 1988.

4. *Попов Н.Н., Чарыев М.* Железобетонные и каменные конструкции. - М., 1996.

Глава XXI. ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. Общие сведения

Материалы из древесины применялись в строительстве с глубокой древности. Еще в 12-13 веках русскими зодчими были созданы замечательные сооружения из древесины: мосты, крепостные сооружения, храмы и дворцы, великолепные по архитектурной выразительности. Некоторые из них сохранились до сих пор как памятники архитектуры.

Высокий коэффициент конструктивного качества, прочностные показатели, стойкость в агрессивных средах, технологичность и декоративность обеспечили деревянным конструкциям и изделиям из древесины достойное место в общей номенклатуре строительных конструкций. Склеивание древесины современными полимерными клеями дает возможность получения композиционных материалов. Применение клееных деревянных конструкций, относящихся к легким сборным индустриальным конструкциям, позволяет сократить сроки строительства и снизить его стоимость.

Средние показатели прочности древесины хвойных и лиственных пород 40-80 МПа при сжатии вдоль волокон, 50-100 МПа при изгибе, 100-190 МПа при растяжении вдоль волокон. Однако эти результаты

получены в лабораторных условиях на малоразмерных образцах при 15%-ной влажности. Прочность длинноразмерных элементов из-за пороков и дефектов древесины будет значительно меньше. При расчетах деревянных конструкций на сжатие, изгиб прочность принимается не более 10-12 МПа. В клееных конструкциях, где при их изготовлении убираются недопустимые пороки и дефекты, прочность увеличивается в несколько раз. В древесно-слоистых пластиках (ДСП) прочность достигает 150-280 МПа.

Эффективное сочетание древесины с полимерами, минеральными вяжущими, волокнами и металлами составляет принципиально новую основу создания деревянных конструкций. Потенциальные возможности древесины очень велики и прочностные характеристики значительно увеличиваются именно в композиционных материалах.

§ 2. Материалы и изделия для деревянных конструкций

Путем механической, механико-химической и химической переработки ствола, корней и кроны дерева получают так называемые *товары*. По способу получения лесные товары разделяют на семь групп: лесоматериалы; модифицированная древесина; композиционные древесные материалы; сырье для лесохимических производств; целлюлоза; бумага и древесно-волокнистые материалы; продукция гидролизного и дрожжевого производства; продукция химических производств.

Для строительных целей используют в основном товары первой группы - **лесоматериалы**, а также **композиционные древесные материалы и модифицированную древесину**.

По способу механической обработки лесоматериалы разделяют на: круглые; пиленые материалы; лущеные; фрезерованные (строганные); колотые, производимые разделение древесины вдоль волокон клиновидным инструментом; измельченные (щепа, опилки, стружки), получаемые в процессе обычного пиления и фрезерования или специальной переработкой древесины.

Композиционные древесные материалы (листовые, плитные и другого вида) получают с помощью связующих (вяжущих) веществ из предварительно разделенной части древесины (фанера, столярные плиты, древесно-стружечные плиты, древесно-слоистые пластики, фибролит, цементно-стружечные плиты).

Модифицированная древесина - цельная древесина с направленно измененными свойствами (прессованная древесина, пластифицированная аммиаком, модифицированная синтетическими смолами и др.).

Ствол поваленного дерева, отпиленный от корневой части и очищенный от сучьев, называют *хлыстом.* Процесс деления хлыстов на части называют *раскряжевкой.* При раскряжевке хлыстов получают отрезки разной длины - бревна, кряжи и чурки. В строительстве используют главным образом бревна, как в круглом виде, так и в качестве сырья для выработки пиломатериалов,

Круглые лесоматериалы по толщине (диаметру верхнего отруба) разделяют на мелкие, средние и крупные. Мелкие, называемые часто *подтоварником,* имеют диаметр 6-13 см, средние - 14-24 см, крупные - 26 см и более. Более тонкие части ствола или тонкий лес (3-7 см) строители называют *жердями.* Длина бревен - 3-6,5 м, с градацией - через 0,5 м.

В зависимости от качества древесины и дефектов обработки лесоматериалы разделяют на четыре сорта. В строительстве преимущественно используют бревна 2-го и 3-го сортов.

Пиломатериалы *по геометрической форме и размерам поперечного сечения* делят на пластины, четвертины, брусья, доски, горбыль (рис. 21.1). *Брусья* имеют толщину и ширину более 100 мм; *бруски* - толщину до 100 мм и ширину более двойной толщины. По *характеру обработки* пиломатериалы делят на обрезные и необрезные.

У необрезных пиломатериалов кромки не пропилены. По *степени обработки* пиломатериалы разделяют на - нефрезерованные и фрезерованные (строганые). При толщине материалов до 32 мм их называют тонкими, при большей толщине - толстыми. Тонкие доски называют еще *тесом.*

Пиломатериалы хвойных пород изготовляют длиной 1-6,5 м с градацией 0,25 м. Доски и бруски разделяют на пять сортов (отборный; 1, 2, 3 и 4-й); брусья отборного сорта не имеют. В строительстве используют все сорта, а в столярном производстве 1-го и 2-го сорта. Ширина пиломатериалов увязана с толщиной и максимально может быть: у досок - 250 мм, брусков - 200 мм, брусьев - 250 мм.

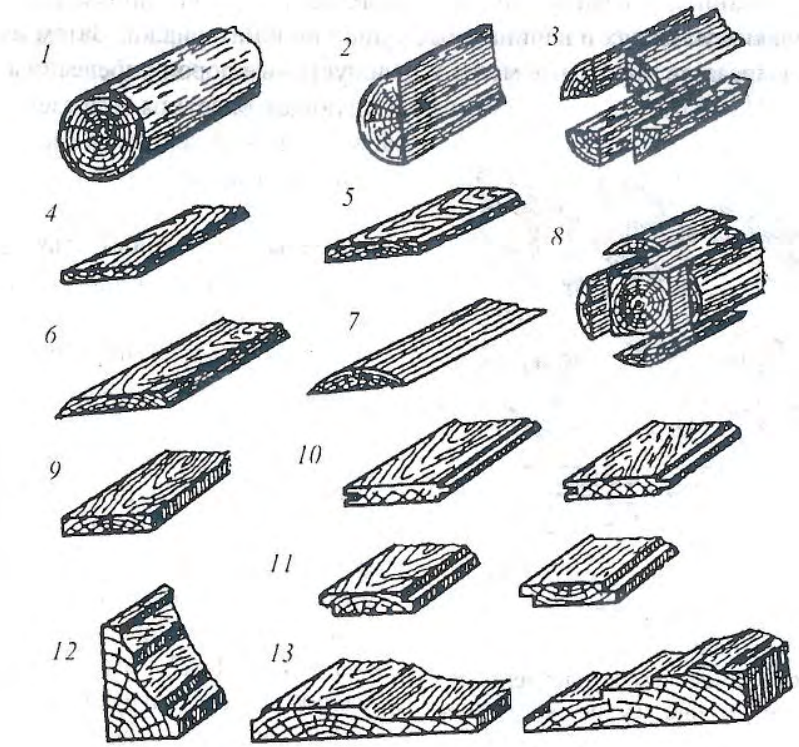


Рис. 21.1. Виды лесных материалов:
1 - пиловочные строительные бревна; *2* - пластина; *3* - четвертины; *4, 5* - обрезные доски; *6* - необрезные доски; *7* - горбыль; *8* - брус; *9* - доска, строганная с четырех сторон; *10* - шпунтованные доски с треугольным пазом и гребнем; *11* - фальцованные доски; *12* - плинтус; *13* - наличники

Пиломатериалы лиственных пород изготовляют длиной 0,5-6,5 с градацией через 0,5 м. По качеству эти пиломатериалы делят на три сорта.

3. Деревянные клееные конструкции и сборные дома

В строительстве используют **клееные конструкции** двух видов: несущие и ограждающие. Несущие конструкции являются многослойными, т.е. склеенными из слоев древесины. Иногда их усиливают путем вклеивания металлической или пластмассовой арматуры.

Склеивание древесины для различных конструкций производится в заводских условиях и начинается с сушки пиломатериалов. Затем из досок вырезают дефектные места и недопустимые пороки древесины.

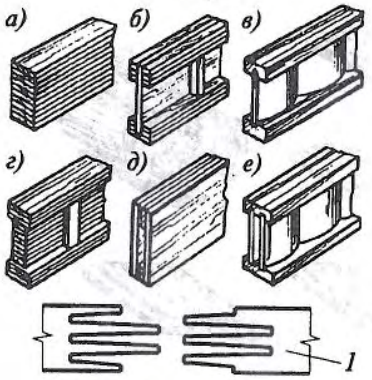


Рис. 21.2. Сечение клееных деревянных балок:
а) сплошное прямоугольное; *б), г)* соответственно двутавровое с клееной фанерой и клееными деревянными стенками; *в)* двутавровое с волнистой стенкой; *д)* коробчатое; *е)* коробчатое с волнистыми стенками; *1* - схема зубчатых шипов

Следующая операция - фрезерование шипов. Все это делается механизированным путем на распиловочных, фрезерных, шипорезных машинах. После нарезки зубчатых шипов (рис. 21.2) заготовки стыкуют на клеях для получения длинных досок (лент). Клей на поверхность досок наносится механизированными клеевыми вальцами ровным слоем с расходом 0,2-0,6 кг/м^2. Толщина клеевого шва колеблется от 0,1-0,8 мм. Максимальная прочность обеспечивается при толщине клеевой прослойки 0,1-0,2 мм. Пакет склеенных досок загружается в пресс и запрессовывается. Для склеивания древесины наилучшими являются резорциновые, фенольные, карбамидные и поливинилацетатные клеи. Полимер, образующий основу клея, может быть термореактивным или термопластичным и отверждается под влиянием нагревания, удаления растворителя или действия отвердителя.

К несущим конструкциям относят плоские конструкции - балки, арки, рамы, фермы, панели и пространственные - оболочки, купола и т.п.

Балки - наиболее простой тип конструкций; процесс изготовления их может быть максимально механизирован. Клееные балки имеют различные очертания и формы поперечного сечения (рис. 21.3). Высота сечения назначается не менее 1/15 пролета.

Арки - это один из наиболее распространенных видов клееных несущих конструкций (рис.21.4). Широкое распространение в нашей стране при строительстве производственных сельских зданий получили треугольные арки пролетом 12 и 18 м, состоящие из клееных

прямолинейных верхних поясов, и металлические затяжки. Стрельчатые арки широко используют для строительства складов минеральных удобрений, расположенных в местах добычи калийных солей (пролетом 45 м) и в местах их применения (пролетом 18 и 24 м) (рис. 20.4). Арочные конструкции применяют также в зрелищных и спортивных зданиях и сооружениях.

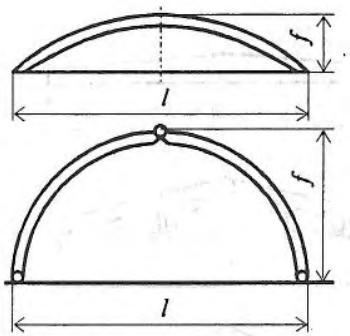


Рис. 21.3. Схемы клееных дощатых арок
а) кругового сечения (l = 12-30 м, f = 1/6l); *б)* стрельчатые (l = 30-80 м, f = 1/2-1/3l)

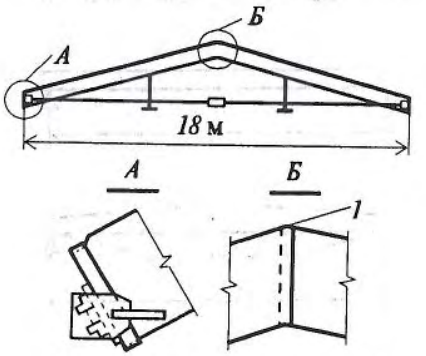


Рис.21.4. Арка металлодеревянная треугольная двухшарнирная:
1 - зубчатый щуп

Рамные конструкции могут иметь различное очертание. Чаще всего их используют в однопролетных зданиях. Рамы состоят из стойки и ригеля чаще всего сплошного прямоугольного, реже двутаврового или коробчатого сечения. Высоту сечения изменяют в соответствии с эпюрой изгибающих моментов; она достигает максимума в месте перехода от стойки к ригелю. Этот переход осуществляется плавно или по ломаной линии. В первом случае стойку и ригель изготовляют совместно путем изгиба многослойного пакета в процессе запрессовки (гнутоклееные рамы); во втором - отдельно и затем соединяют при помощи зубчатых или иных соединений.

Фермы с элементами из клееной древесины нашли несколько меньшее распространение в строительстве, чем арки и рамы, что объясняется большой трудоемкостью изготовления этих конструкций. Наиболее распространены треугольные фермы двускатные и односкатные, а также фермы с параллельными поясами и раскосно-строечной или раскосной решетками.

Металлодеревянные треугольные фермы состоят из двух шпренгельных элементов, шарнирно соединенных в коньковом узле. Конструктивное решение опорных узлов позволяет применять фермы под любые нагрузки, что значительно расширяет их область применения. Трудоемкость узлов ферм снижается.

Плоские клееные деревянные конструкции способны перекрывать значительные по размерам пролеты (рис. 21.5).

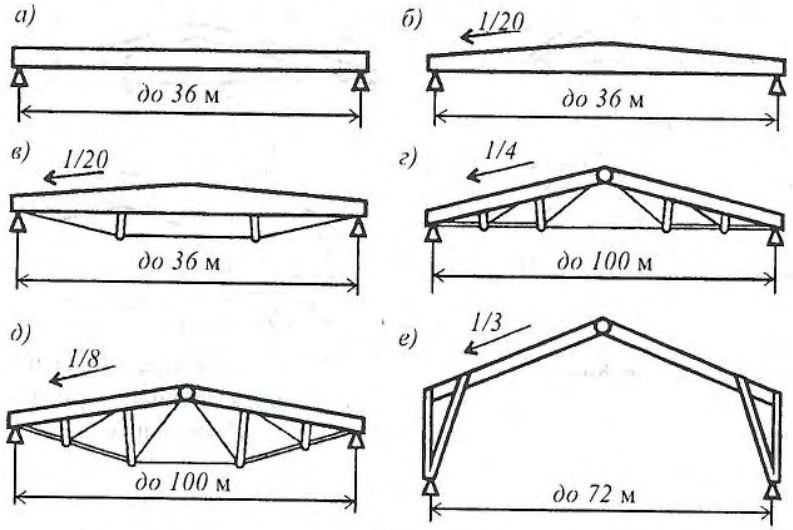


Рис. 21.5. Схемы клееных деревянных конструкций:
а) балка прямолинейная постоянного сечения; *б)* балка двускатная; *в)* балка шпренгельная; *г)* металлодеревянная ферма треугольная; *д)* металлодеревянная ферма с нижним поясом ломаного очертания;
е) рама трехшарнирная

В качестве ограждающих конструкций массового применения изготовляют панели размером 3,0х1,5 м с обшивками из фанеры. Разработаны также плоские панели стен и покрытий размером 6,0х1,5 м. В качестве продольных ребер в таких панелях используют клееные многослойные элементы, в том числе с фанерной волнистой стенкой, гнутые фанерные швеллеры и др.

К клееным можно отнести трехслойные панели с обшивками из фанеры древесно-стружечных и древесно-волокнистых плит и средним слоем из пенопласта, вспениваемого непосредственно в полости панели. Для увеличения несущей способности панели имеют деревянный каркас. Обшивки соединены со средним слоем при помощи клеев. Эти панели используют в качестве перегородок и стеновых

панелей многоэтажных и сборно-разборных домов. Панели указанного типа отличаются небольшой плотностью, малой теплопроводностью, достаточной долговечностью.

Широкое распространение нашли панели размером 3х1,5 и 6х1,5 м, состоящие из деревянного каркаса, к которому шурупами крепят обшивки (у стеновых панелей с двух сторон, у плит покрытий с одной) из плоских асбестоцементных листов. Хотя эти конструкции нельзя отнести к клееным, часто их изготовление осуществляют на предприятиях клееных деревянных конструкций (КДК). Это объясняется тем, что элементы каркаса панелей выполняют клееными, используя склеивание по длине на зубчатом соединении, реже - склеивание по ширине.

Обширную группу пространственных конструкций составляют *своды* и *купола.* Геометрическая форма большинства этих конструкций образована поверхностью вращения вокруг горизонтальной оси (цилиндрические своды и оболочки) и вокруг горизонтальной и вертикальной осей (сферические купола) (рис. 21.6).

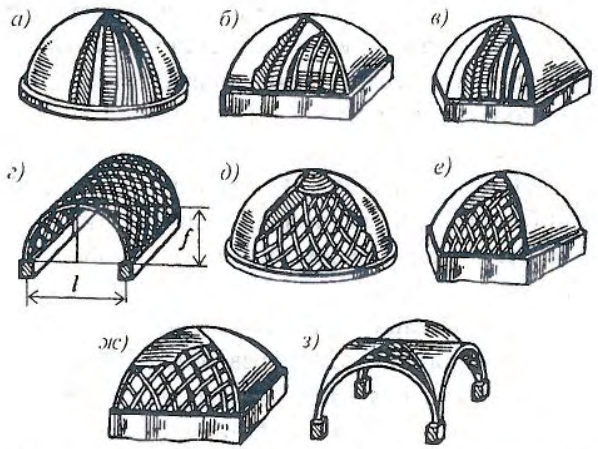


Рис. 21.6. Основные схемы пространственных деревянных конструкций в покрытиях:
а) сферический купол-оболочка; *б)* сомкнутый свод-оболочка (квадратный в плане); *в)* то же, многоугольный в плане; *г)* кружально-сетчатый цилиндрический купол; *д)* кружально-сетчатый сферический купол; *ж)* то же, квадратный в плане; *з)* кружально-сетчатый свод; *е)* кружально-сетчатый сомкнутый свод (многоугольный в плане)

Цилиндрические своды могут быть распорными, опирающимися на продольные стены или по контуру, и безраспорными, опирающимися на торцевые стены, столбы и диафрагмы. Пересечением цилиндрических сводов образуются крестовые своды - безраспорные конструкции, опирающиеся преимущественно на колонны, и сомкнутые своды - квадратные или шестиугольные в плане, опирающиеся преимущественно по периметру.

По конструктивному исполнению своды и купола подразделяются на сплошные тонкостенные, образуемые слоями досок или фанеры, ребристые, опирающиеся на арки, и кружально-сетчатые, собираемые из стандартных косяков. Применение косяков и других сборных элементов позволяет в большей степени индустриализовать изготовление пространственных конструкций.

Особую группу составляют купола, образуемые опиранием в замке трехшарнирных арок и рам, опирающихся непосредственно на фундаменты или стены. Такие конструкции, пространственные по форме, рассчитывают как плоские. В последнее время предложены конструкции пространственных покрытий двоякой кривизны с поверхностью параболоида, эллипсоида, гиперболоида, гиперболического параболоида. Создание таких конструкций стало возможным благодаря усовершенствованным способам склеивания древесины.

Деревянные конструкции хорошо противостоят целому ряду агрессивных воздействий, под действием которых другие материалы разрушаются весьма интенсивно. Их применение обеспечивает экономию стали и бетона, так как отпадает необходимость в частых ремонтах для борьбы с последствиями коррозии. Особенно эффективно применение в таких случаях клееных деревянных конструкций. В отечественной промышленности строительных материалов разработаны технологические линии по производству различных конструкций из клееной древесины. В определенных условиях они экономичнее железобетонных конструкций. Деревянные конструкции могут быть использованы при строительстве предприятий по производству серной кислоты, в цехах, связанных с производством свинца, меди, цинка, а также складов минеральных удобрений и др. С использованием древесины целесообразно строить и целый ряд инженерных сооружений (транспортные галереи, градирни, вентиляционные башни), где другие материалы в результате агрессивного воздействия производственной среды быстро корродируют и выходят из строя.

Сборные дома заводского изготовления выпускают брусковые, каркасно-щитовые и каркасно-обшивные. Для *каркасно-щитового* дома каркас заполняют из фибролита или древесно-волокнистых плит. Наружные стены могут быть облицованы, например, асбоцементными цветными плитами. В *каркасно-обшивном* доме каркас собирают из брусьев (вертикальных стоек, нижней и верхней обвязки). Каркас обшивают снаружи и внутри обрезными досками, пространство между которыми заполняют теплоизоляционными материалами. Балки пола и стропила, выполняемые из досок толщиной 50 мм, дополнительно укрепляют каркас. Дома заводского изготовления выпускают одно- и двухэтажными; их собирают на строительной площадке из готовых элементов.

В настоящее время объем строительства деревянных домов составляет примерно 15% (в США - 75%), учитывая наши природные богатства древесины - это очень мало. Намечается увеличить использование легких каркасных конструкций в 3-4 раза. Строить такие дома можно с эффективным утеплителем из легких деревянных панелей с облицовкой, имитирующей кирпич, мрамор и др. По сравнению с рубленными, деревянные каркасные дома требуют меньшего расхода древесины, проще в строительстве и энергоэкономичнее в эксплуатации.

Строительство из бруса не всегда целесообразно, так как брус лишен твердой оболочки и имеет только мягкую сердцевину, поэтому его "ведет", что не происходит с бревном. Стены из оцилиндрованных бревен, имеющие гладкую поверхность, сохраняют все качества естественной древесины: бревна обрабатываются системой фрез.

Для летнего (сезонного) проживания деревянные дома значительно комфортнее по сравнению с кирпичными. Последние в зимнее время из-за большой теплопроводности сильно охлаждаются и при периодических наездах трудно протапливаются.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите пиленые материалы, их виды и классификацию.
2. Назовите виды деревянных конструкций, применяемых в современном строительстве.
3. Какие положительные свойства древесины обеспечили развитие производства клееных деревянных конструкций? Какова их прочность?

Дополнительная литература

1. *Ковальчук Л.М.* Производство клееных деревянных конструкций. - М.: Стройиздат, 1979.

2. *Хрулев В.М.* и др. Модифицированная древесина и ее применение. - Кемерово, 1988.

3. *Слицкоухов Ю.В.* и др. Конструкции из дерева и пластмасс. - М., 1986.

Глава XXII. ПОЛИМЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. Общие сведения

Применение полимеров в строительных конструкциях позволяет последовательно проводить дальнейшую индустриализацию строительного производства, превращая его в единый процесс возведения объектов из элементов заводского изготовления.

Эффективное сочетание полимеров с древесиной, бетоном, металлами, минеральными волокнами составляет принципиальную основу создания новых индустриальных конструкций.

Опыт применения полимерных конструкций в зданиях невелик. Один из первых домов был построен в США в 20-х годах и представлял собой в конструктивном плане одну опору, на которой крепились панели из поливинилхлорида. Все детали дома весили около 2т. В 1933 г. на Чикагской выставке демонстрировался дом из слоистых панелей. Также в США в 50-х годах был построен «Дом будущего» и «Дом улитка», выполненные из стеклопластика в качестве несущих и ограждающих конструкций.

В нашей стране также велось экспериментальное строительство с применением пластмасс. В 1959 г. в Москве был построен панельный пятиэтажный дом, который простоял около 25 лет. Панели дома состояли послойно из стеклопластика - пенополистирола - гипсовой сухой штукатурки.

Особую роль играют полимерные строительные конструкции на предприятиях, использующих кислоты, щелочи и другие агрессивные компоненты в производственном процессе. Конструкции с применением полимеров в этом случае играют роль первичной химической защиты и по химической стойкости в десятки раз превосходят конструкции из традиционных материалов. Вместе с тем применение полимерного материала дает возможность возводить сооружения на принципиально новой основе, как, например, при применении пневмокаркасных или трехслойных конструкций.

§ 2. Пневматические конструкции

Пневматическими конструкциями называют мягкие оболочки, форма и несущая способность которых обеспечивается избыточным давлением нагнетаемого в них воздуха.

Эти конструкции изготавливаются из следующих материалов: армированных и неармированных полимерных пленок, покрытых или пропитанных полимерами тканей, сеток, стальных канатов и алюминиевого проката. Различают следующие пневмоконструкции: воздухоопорные, пневмокаркасные.

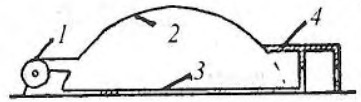


Рис. 22.1. Принципиальная схема воздухоопорной конструкции

Воздухоопорные конструкции представляют собой мягкие оболочки, которые выполняют ограждающие функции и сохраняют заданную форму благодаря нагнетаемому в них воздуху под большим (0,1-1,0 кПа) давлением, безопасным для персонала.

Сооружение состоит из следующих конструктивных элементов (рис. 22.1): собственно оболочка *2*, установка для подачи воздуха *1*, опорный контур *3*, тамбур-шлюз *4*.

Воздухоопорные конструкции выполняют в виде цилиндрических сводов с различной стрелой подъема. Торцовые части сводов могут быть плоскими, сферическими и цилиндрическими. Для большепролетных сооружений используют оболочки, усиленные облегающими канатами и сетками.

Пневмокаркасные конструкции имеют замкнутые полости, внутри которых поддерживается сравнительно высокое избыточное давление. Наиболее типичной конструкцией такого рода является свод с несущим каркасом из пневмоарок и пневмопрогонов, покрытых тканевой ограждающей оболочкой.

Из рассмотренных конструкций в основном применяются воздухоопорные оболочки. У них имеются определенные преимущества: быстрота монтажа (0,15 - 0,5 чел. ч/м покрытия); малая масса (2 - 3,5 кг/м перекрываемой площади), малый транспортный объем, низ-

кая удельная стоимость монтажа (8-20% общей стоимости сооружения), функциональная приспособляемость формы, сейсмостойкость, легкость транспортирования. В то же время всем пневматическим конструкциям присущ ряд недостатков: малый (до 10 лет) срок службы, обусловленный старением полимерных материалов, неблагоприятные акустические характеристики, потребность в вентиляторных или компрессорных установках.

Пленки для оболочек получают из полиамидов, полиэфиров, полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида. Для армирования пленок используют капроновые, лавсановые, металлические и стеклянные сетки и волокна. Ткани покрывают или пропитывают поливинилхлоридом, полихлоропреном, хлорсульфополиэтиленом, а также этиленпропиленовым и полиуретановым каучуком. Ткани могут быть хлопчатобумажные, синтетические, из стекловолокна. Тканевая основа может иметь полотняное (одна нить) или рогожное (две или три нити) переплетения. Покрытия наносятся в заводских условиях методом каландрирования или шпрендингования.

Общим достоинством пленок являются воздухонепроницаемость, тепло- и морозостойкость, биологическая и химическая стойкость, светопрозрачность, достаточная прочность и легкость.

Основные недостатки - ползучесть, потеря эластичности при старении.

Покрывающие пленки могут быть светопроницаемы и окрашены в любой цвет. Они должны быть морозостойки до температуры -40^0С. Основные требования к тканеполимерным материалам для пневмоконструкций: прочность, легкость, эластичность, долговечность, тепло- и морозостойкость, технологичность при изготовлении конструктивных элементов.

§ 3. Оболочки из пластмасс

Оболочки покрытий входят в число наиболее эффективных конструкций из пластмасс. Благодаря высокой технологичности пластмасс получают оболочки рациональной геометрической формы, чем компенсируется повышенная деформативность пластмасс, и совмещается несущая и ограждающая функции.

Геометрические размеры оболочек и форма увязываются с объемно-планировочным решением и варьируются в широких пределах. Пластмассовые оболочки удачно сочетают такие свойства, как: радиопроницаемость, легкость, устойчивость, индустриальность возведения. Перекрываемые оболочками пролеты могут достигать 90-110 м но чаще составляют 3-30 м.

Типы оболочек приведены на рис. 22.2.

Структурные оболочки состоят из расположенных в одной плоскости тонкостенных пространственных элементов. Такие оболочки работают как плита, опираясь по контуру или в отдельных точках.

Оболочки ординарной кривизны - цилиндрические, призматические и своды.

Оболочки двоякой кривизны изготавливают двух типов - положительной кривизны и отрицательной кривизны.

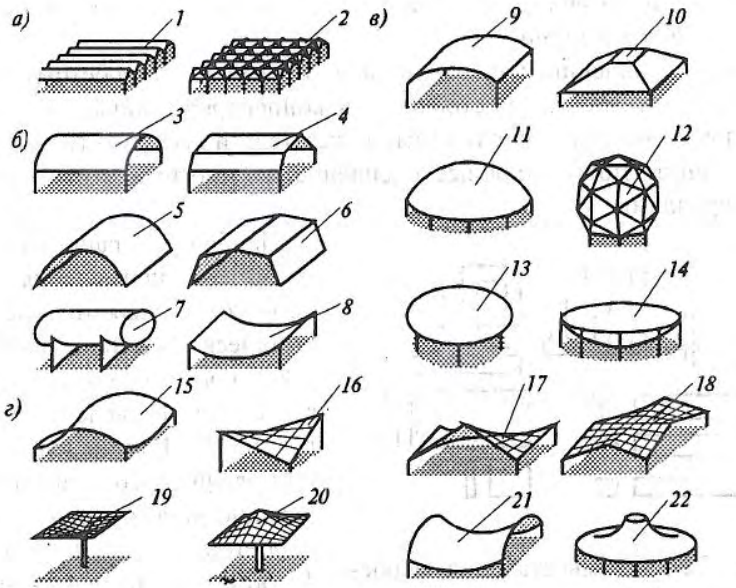


Рис. 22.2. Типы оболочек из пластмасс:
а) структурные (типа пространственной плиты); *б)* одинарной кривизны и призматические оболочки; *в)* двоякой положительной гауссовой кривизны и сходные с ними выпуклые многогранные оболочки; *г)* двоякой отрицательной гауссовой кривизны; *1, 2* - с одно- и двухосным расположением элементов; *3, 5* - цилиндрические; *4, 6* -призматические; 7- замкнутая; *8* - висячая; *9, 10* - эллиптическая и пирамидальная; *11, 12* - сферическая и многогранная (геодезическая); *13* - замкнутая эллиптическая; *14* - висячая эллиптическая; *15, 16* - гиперболическая; *17, 18* - шатровые гиперболические; *19, 20* - воронкообразная и зонтичная гиперболические; *21, 22* - висячие гиперболические (седловидная и с центральной опорой)

Материалом для оболочек всех типов служат стеклопластики на полиэфирной основе, эпоксидный и полистирольный пенопласт, алюминиевые и стальные профили, клееные деревянные брусья.

§ 4. Полимербетонные конструкции

Полимербетоны состоят из полимерного связующего и минеральных и органических заполнителей.

Наиболее распространенные связующие для конструкционных полимербетонов термореактивные (эпоксидные, полиэфирные, фурановые), карбамидные. Армируют полимербетоны стальной или стеклопластиковой арматурой либо волокнами: стальными, стеклянными, полимерными.

При сравнении с цементными бетонами полимербетоны имеют высокую химическую стойкость в концентрированных кислотах и щелочах, высокие прочностные показатели и высокую газо- и водонепроницаемость, хорошее сцепление со многими строительными материалами.

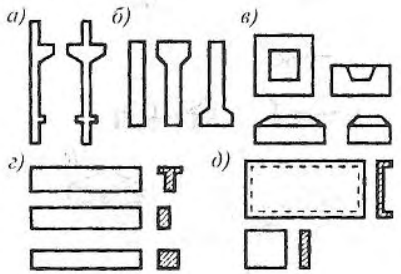


Рис. 22.3. Схемы сталеполимербетонных конструкций промышленных зданий

Наиболее рациональными областями применения полимербетонов являются несущие химически стойкие конструкции промышленных зданий различных отраслей промышленности. Для производственных зданий изготавливают следующие конструкции из полимербетона: колонны сечением 40х60 см, высотой 14,4 м (рис. 22.2, а), колонны сечением 40х40 см высотой 3,3 м для эстакад под электролизные ванны и этажерок (рис. 22.3, б), фундаменты под колонны и технологическое оборудование размером в плане 100х100 см (рис. 22.3, в); балки покрытий, подкрановые фундаментные опорные длиной 4-6 м и сечением от 20х20 до 40х80 см для конструкций, несущих технологические коммуникации (рис. 22.3, г), плиты для полов и футеровок размером 50х50 см и для стен 1,2х4,8 м (рис. 22.3, д), трубы диаметром 20-80 см.

Для подземных сооружений из полимербетона изготовляют коллекторные кольца, колодцы, блоки стен подвалов, способные к длительной эксплуатации в агрессивных грунтах. Полимербетон на фурановом связующем используется для изготовления травильных и электролизных ванн.

§ 5. Трехслойные панели

Трехслойные панели - это плоские или пространственные конструкции, состоящие из легкого тепло-, звуко-, виброизоляционного материала, обклеенного с обеих сторон прочными и жесткими обшивками, стойкими к различным воздействиям.

Монолитность соединения обшивок со средним слоем и частичная передача на этот слой действующих нагрузок с одновременным выполнением им изоляционных функций ставят трехслойные панели в число наиболее эффективных несущих и ограждающих конструкций. Масса трехслойных панелей лежит в пределах 40-70 кг/м^3, что позволяет значительно снизить массу зданий и повысить индустриальность строительства.

Панели классифицируют по назначению (для стен, покрытий), по *светопропускающей способности* (светопроницаемые и глухие), по *технологическим свойствам* (неутепленные и утепленные). Основное назначение трехслойных панелей - покрытия по несущим конструкциям, подвесные перекрытия и вертикальные ограждения зданий.

В качестве обшивок применяют тонколистовой алюминий, защищенную от коррозии сталь, стеклопластики, фанеру, древесные плиты, асбестоцемент.

Распространение в качестве материала среднего слоя получил полистирольный пенопласт, вследствие сравнительно низкой стоимости и высоких физико-механических свойств. Однако ему присущи определенные недостатки: низкая теплостойкость (70-80°С) и низкая огнестойкость, которую повышают введением специальных добавок. Более высокую прочность и теплостойкость имеет пенополивинилхлорид. Но он может вызывать коррозию металлов. Кроме того, вследствие высокой стоимости его применение ограничено. Для трехслойных панелей широко используется пенополиуретан. Его заливают в полости в жидком виде, после чего он самопроизвольно вспенивается и склеивается с листами обшивки. Структура пенопласта и степень вспенивания регулируются путем изменения состава

исходной композиции. Отвержденный пенопласт обладает достаточно высокой прочностью и теплостойкостью (до 130°С).

Наибольшую жесткость и устойчивость при минимальной массе имеют панели со средним слоем из сотового заполнителя, который изготавливают из металлической фольги, бумаги, пластмасс (рис. 22.4, а).

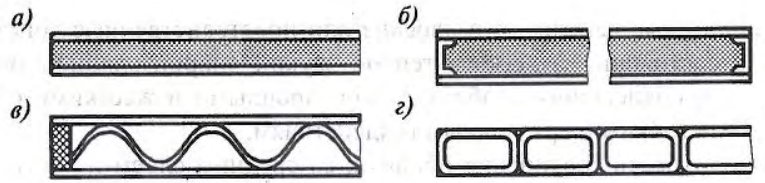


Рис. 22.4. Трехслойная панель:
а) без обрамления; *б)* с обрамлением; *в)* с волнистым светопрозрачным заполнителем; *г)* из коробчатых элементов

Для предохранения стенок ячеек от смятия при механической обработке соты на время обработки заполняют водой и замораживают. Для повышения теплоизоляционных и огнезащитных свойств панелей ячейки сот заполняют пенопластом, перлитом, вермикулитом.

Огнестойкость сотовых конструкций повышают пропиткой их антипиренами. Благодаря малой собственной массе панели с сотовым заполнителем могут иметь большие размеры, например, на 2 этажа.

При склеивании сот с обшивками применяют различные клеи. Более жесткие наносят на соты, а эластичные на листы обшивки (рис. 22.4, б). Жесткий клей обеспечивает устойчивость стенки в месте крепления, а эластичный - деформативность при температурных воздействиях. Для запрессовки при склеивании плоских панелей используют винтовые, гидравлические и пневматические прессы. Панели криволинейного очертания запрессовывают на соответствующей по форме матрице с помощью резинового мешка вакуумным или автоклавным способом.

Плиты покрытий и подвесных перекрытий устраивают с обрамлением, прочно соединенным с обшивками. Обрамление может быть из стальных, асбестоцементных, фанерных профилей (рис. 22.4, б). Кромки панелей также закрывают полосами из водостойкой бакелизированной фанеры и обрамляют алюминиевыми уголками, скрепленными с обшивкой и фанерой клеезаклепочными соединениями.

Стыки панелей уплотняют прокладками из пороизола, гернита, пенополиуретана, воспринимающими температурные деформации панелей без нарушения герметичности стыка. Дополнительную герметичность обеспечивают мастики и механические устройства, компенсаторы, прокладки, держатели.

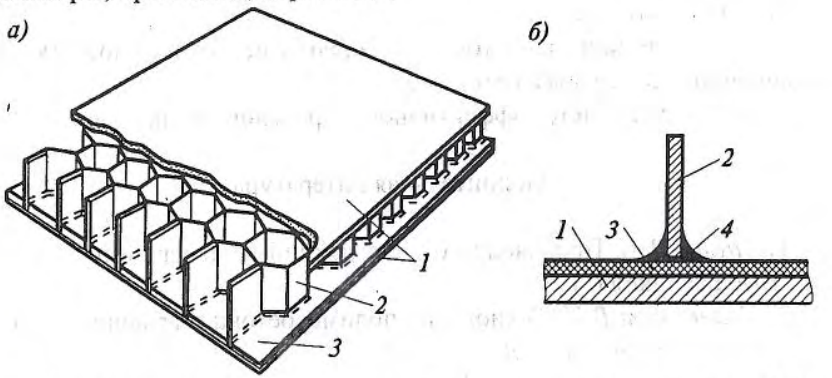


Рис. 22.5. Схема конструкции панели с сотовым заполнителем (*а*) и соединение стенки ячейки с обшивкой (*б*):
1 - обшивка; *2* - стенка ячейки сот; *3* - клеевой слой, наносимый на обшивку; *4* - клей, защемляющий стенку

Асбестоцементные трехслойные панели, как правило, обстраиваются обрамлением из деревянных, фанерных или стальных профилей, соединенных с обшивками клеевинтовыми соединениями (рис. 22.5). Панели с алюминиевыми обшивками и средним слоем из поливинилхлоридного пенопласта обрамляют алюминиевым швеллером, скрепленным с обшивками клеезаклепочным или клеесварным соединением, которое в сравнении с клеезаклепочным менее трудоемко. В клеесварных соединениях применяется эпоксидный клей К-138, шаг сварных точек составляет 50 мм.

Современным требованиям, предъявляемым к теплозащите зданий, отвечают трехслойные панели с наружными слоями из армированного тяжелого бетона и средним теплоизоляционным слоем из полистирольного пенопласта ПСБ-С в виде плит. Для обеспечения совместной работы слоев наружные железобетонные слои выполняют коробчатого сечения, т.е. с ребрами жесткости. Эти ребра жесткости, являясь "мостиками холода", снижают теплозащитные свойства панелей. Коэффициент термического сопротивления таких панелей при толщине пенопластового среднего слоя, равной 100 мм, составляет 1,35 $м^2$ °С/ Вт. Этого недостатка лишены панели на «гибких

связях», выполненных из металлических стержней. Коэффициент термического сопротивления этих панелей составляет 1,42 $м^2$ °С/Вт.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные виды полимерных конструкций, применяемых в строительстве.
2. Что такое полимербетон и его преимущества и недостатки по сравнению с цементным бетоном?
3. В чем заключается эффективность трехслойных панелей?

Дополнительная литература

1. *Хрулев В.М.* Производство конструкций из дерева и пластмасс. М.: Высшая школа, 1989.
2. *Соломитов В.И.* Технология полимербетона и армополимербетона. - М.: Стройиздат, 1984.
3. *Барбакадзе В.И.* и др. Долговечность строительных конструкций и сооружений из композиционных материалов /Пол ред. В.Г. Микульского. М.: Стройиздат, 1993.

Глава XXIII. АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ

§ 1. Общие сведения

Конструкции зданий и сооружений испытывают действие механических нагрузок и физико-химическое воздействие окружающей среды. Возникающие под действием механических нагрузок напряжения в материалах конструкций и их несущая способность определяются с достаточной надежностью расчетными методами сопротивления материалов и строительной механики. Однако несущая способность, рассчитанная с учетом воздействия только механических нагрузок, не обеспечивает надежность конструкций на заданный срок эксплуатации зданий и сооружений, если при этом не учтено возможное агрессивное воздействие окружающей среды, не разработаны и не проводятся меры по защите от коррозии. Воздействие среды может быть неагрессивным и малоагрессивным, при которых тот или

иной материал сохраняется столетиями или даже тысячелетиями, или столь агрессивным, что конструкции разрушаются через несколько лет и даже месяцев. Бурное развитие промышленности привело в текущем веке к значительному изменению общей экологической обстановки вследствие загрязнения земной коры, воздушного и водного бассейнов агрессивными продуктами и отходами, вызывающих коррозию строительных конструкции. Так, по сообщению общества охраны окружающей среды Греции, за последние 25, лет мрамор Парфенона пострадал больше, чем за все 2500 лет своего существования. Обстановка усугубляется и прогрессирующей в последние десятилетия химизацией технологических процессов. Установлено, что разрушающему воздействию атмосферных и производственных агрессивных сред подвергаются от 15% до 75% строительных конструкции зданий и сооружений.

В развитых странах мира коррозия отнимает около 10% их национального дохода. Только стали от коррозии в мире ежегодно теряется более 100 млн. т.

Для обеспечения заданной долговечности зданий и сооружений в условиях физико-химического воздействия сред необходимо следующее: стойкие в соответствующих условиях строительные материалы для изготовления изделий и конструкции; правильные конструктивные решения, обеспечивающие устранение или минимальный контакт конструкции с агрессивной средой; устройство антикоррозионной защиты конструкции.

Окружающая среда, в условиях которой эксплуатируются строительные конструкции, может иметь весьма разнообразный состав. В одних случаях это могут быть атмосфера, газ, вода, почва; кислоты, щелочи, соли и их растворы; различные металлы; минеральные и органические вещества в жидком и твердом состояниях. В других - это различные комбинации указанных сред, и так же их сочетания с электрическим током, световыми и радиоактивными излучениями.

Коррозионные процессы в строительных материалах происходят преимущественно при воздействии на них жидких сред. Сухие газы и твердые среды при нормальных условиях в большинстве своем являются неагрессивными. Растворение газов и твердых сред в парах влаги воздуха приводит к образованию растворов солей, кислот и оснований, конденсация которых в капельно-жидком состоянии на строительные материалы приводит к развитию коррозионных процессов.

Значительное место занимает биокоррозия, которая вызывается бактериями, усваивающими азот и сернистые газы из атмосферы; плесневыми грибками; низшими водорослями, мхами и лишайниками.

§ 2. Материалы для защиты от коррозии

Для защиты конструкций от коррозии применяется весьма широкий крут химически стойких строительных материалов: естественные и искусственные каменные, стекло, сера, природные и синтетические лакокрасочные и оклеечные и др.

Изделия из *изверженных* и *метаморфических* кислых горных пород применяются для зашиты от действия кислот любых концентраций, кроме плавиковой и фтористоводородной; из плотных *осадочных карбонатных* пород используют для защиты от действия щелочей; из *стекла* и *каменного литья* применяют для защиты от действия кислот, растворов щелочей с концентрацией до 20% при нормальной температуре, растворов солей и агрессивных газов.

Клинкер дорожный и *кислотоупорные керамические изделия* предусматривают для защиты от воздействия сильноагрессивных сред (кислот, слабых растворов щелочей и органических растворителей). *Кислотоупорные бетоны, растворы* и мастики применяют для защиты от воздействия кислот любых концентраций (кроме горячей фосфорной, плавиковой и кремнефтористоводородной), растворов солей и газов. Серные мастики используют для крепления штучных кислотостойких изделий при защите от действия кислот средних концентраций.

Материалы на основе битумов должны использоваться для гидроизоляции строительных конструкций, подверженных действию агрессивных сред, а также для кладки штучных кислотоупорных изделий. Они применяются в виде мастик, битумобетона и рулонных изделий. Их нельзя применять в условиях действия сильных окислителей, органических растворителей, масел и концентрированных щелочей. В этих условиях более удовлетворительно работает защита из материалов и изделий на основе полимеров.

Полимерные материалы для защиты применяются в виде: лакокрасочных покрытий; пленок, листов и плиток; замазок, мастик, растворов и бетонов. Лакокрасочными материалами выполняется защита конструкций от коррозии в наибольшем объеме. Их достоинства - возможность нанесения на поверхности сложных конфигураций и простота возобновления и ремонта. Наиболее эффективными являются покрытия из перхлорвиниловых, хлоркаучуковых, эпоксидных, полиуретановых, полиэфирных материалов, а также материалов на основе хлорсульфированного полиэтилена, тиоколов и

наирита, которые являются трещиностойкими. Недостатками лакокрасочных покрытий является их газо-, паро-, водопроницаемость и небольшой срок службы. В меньшей степени этими недостатками обладают пленочные, листовые и плиточные полимерные материалы.

Рулонные материалы, листы и плитки для защиты применяются из: полиизобутилена, полиэтилена, винипласта, полистирола, графитопласта и фенолита. Широко применяют оклеечную изоляцию полиэтиленовой пленкой, дублированной стеклотканью, стеклосетчаткой или водостойкой бумагой. Листовые облицовки толщиной от 2 до 20 мм приклеивают клеями из перхлорвиниловой смолы и циклотексанона, 88-м клеем и другими.

Замазки, мастики, растворы и бетоны готовят на основе фенолоформальдегидных, фурановых полиэфирных и эпоксидных смол и применяют для защиты малодеформируемых подземных частей зданий, колонн и стеновых панелей, емкостей; устройства химически стойких полов. Наибольшее применение нашли арзамит-замазки на основе фенолформальдегидных смол в качестве кладочных растворов и для расшивки швов при облицовке конструкций кислотоупорной штучной керамикой, предназначенных для эксплуатации при воздействии растворов кислот средних концентраций. Для защиты от воздействия кислот, щелочей, воды и органических растворителей (кроме ацетона), устройства химически стойких полов, облицовки фундаментов, стен, сточных каналов и других конструкций применяются мастики, растворы и бетоны на основе фурановых, полиэфирных и эпоксидных смол.

При защите конструкций большое, часто определяющее, значение для качества и надежности защитного покрытия имеет подготовка поверхности.

§ 3. Защита от коррозии строительных конструкций

Подавляющее большинство строительных конструкций возводятся и изготавливаются из следующих материалов и изделий: природных каменных, глиняного кирпича, силикатного кирпича, изделий из стекла, бетона, железобетона, стали, алюминия и древесины. Конструкции из камня изверженных горных пород обладают достаточной стойкостью и не требуют специальной защиты от коррозии. Конструкции из карбонатных пород не рекомендуются для применения в зданиях с агрессивными средами. При применении таких конструк-

ций в ограждениях обычных зданий провидится их защита от атмосферной коррозии методами: флюатирования, кремнефторизацией, пропиткой мономерами и растворами парафина, стеарина или металлических мыл.

Силикатный кирпич не рекомендуется для устройства конструкций в зданиях с агрессивными средами и повышенной влажностью.

Абсолютное большинство агрессивных сред, в условиях воздействия которых эксплуатируются строительные конструкции, являются неагрессивными по отношению к глиняному кирпичу и стеклу. В связи с этим конструкции из этих материалов не требуют защиты от коррозии и рекомендуются для применения в сооружениях с агрессивными средами практически без ограничений. При этом следует предусматривать лишь применение соответствующих по физико-химической стойкости кладочных растворов.

Наибольший объем работ по антикоррозионной защите проводится при применении в сооружениях с агрессивными средами конструкции из бетона, железобетона, стали и древесины.

Подготовка поверхности конструкции к защите от коррозии

Подготовку поверхности бетонных и железобетонных конструкции оценивают по влажности поверхностного слоя, шероховатости и чистоте. Все раковины и трещины заделывают бетоном или раствором одинакового состава с конструкцией. Жировые пятна удаляют растворителем, солеобразования - чистой водой, продукты взаимодействия с кислотами - 4-5% раствором кальцинированной соды. Выравнивание поверхности бетона и очистку от загряз нений производят вручную, а при больших объемах работ с использованием пескоструйных, дробеструйных и шлифовальных машин. Влажность поверхностного слоя бетона при нанесении защитных покрытий должна быть в пределах 5-6%. Очищенную поверхность покрывают грунтом или промазывают клеем в соответствии с выбранного для конструкции защитного покрытия.

Подготовка поверхности металлических конструкции под антикоррозионные покрытия состоит в ее очистке от ржавчины, окалины, жира и загрязнений.

Из существующих способов очистки - механического, химического и термического - наиболее эффективен механический способ пу-

тем обдува абразивом (металлической дробью, кварцевым песком или электрокорундом). Если к степени очистки поверхности от оксидов предъявляются более низкие требования, очистку осуществляют с помощью металлических щеток.

Защита от коррозии металлических конструкций

Пассивная защита от коррозии металлических конструкций обеспечивается выбором стойких в заданных условиях эксплуатации марок металлов; запрещением применения в зданиях со средне- и сильноагрессивными средами применения металлических конструкций с тавровыми сечениями из двух уголков, крестовыми сечениями из 4-х уголков, с незамкнутыми прямоугольными сечениями, двутавровыми сечениями из швеллеров или из гнутого профиля; конструкции из труб и замкнутого прямоугольного профиля изготавливаются со сплошными швами и заваркой торцов.

Активная защита металлических конструкций производится нанесением преимущественно лакокрасочных покрытий на полимерной основе (грунтовки, краски, эмали, лаки).

Для защиты стальных конструкций с болтовыми соединениями, из незамкнутого профиля со стыковой сваркой и угловыми швами, а также болтов, шайб применяется горячее газотермическое или гальваническое цинкование или алюминирование.

Для стальных конструкций сооружений в грунтах, частично или полностью погруженных в неорганические жидкие среды, защита от коррозии лакокрасочным покрытием сочетается с электрохимической защитой. При этом защита элементов круглого и прямоугольного сечения в том числе труб, канатов, тросов производится полимерными липкими лентами или битумно-полимерными составами с армирующей обмоткой. Внутренние поверхности емкостей из углеродистой стали для хранения жидких минеральных удобрений, кислот и щелочей защищаются футеровкой неметаллическими химически стойкими материалами.

Наиболее эффективно защищает алюминий покрытие чистыми металлами (Al, Zn, Cr, Cd) - плакирование и анодное оксидирование с наполнителем, обеспечивающее в первом случае надежную катодную защиту основного металла, а во-втором - образование высокотвердой, жаро- и химстойкой пленки, окрашенной в разные цвета.

Защита от коррозии камснных, бетонных и жслезобетонных конструкций

Пассивная защита конструкций обеспечивается выполнением проектных требований, выбором стойких в соответствующих условиях цемента, заполнителей и арматуры; применением бетонов W4-W8; применением в бетонах ингибиторов коррозии арматуры; изготовлением железобетонных изделий с нормированным защитным для арматуры слоем бетона от 15 до 25 мм; защитой арматуры лакокрасочным покрытием в ячеистых и на легких заполнителях бетонах при применении их в слабоагрессивных средах; защитой закладных деталей металлизацией, лакокрасочными и комбинированными покрытиями.

Если при выполнении всех этих требований нужная долговечность конструкций не обеспечивается, то осуществляется **активная защита** от коррозии их поверхностей. Вид защитного покрытия определяется разновидностью и степенью агрессивности сред.

От увлажнения водой и водными растворами эффективным видом защиты бетона является **гидрофобизация** его поверхности. Наиболее широко для этой цели применяют кремнийорганические материалы: метилсиликонаты и этилсиликонаты натрия (ГКЖ-10 и ГКЖ-11) и обладающий наибольшим гидрофобизующим эффектом - полиэтиленсилоксан (ГКЖ-94). Гидрофобизующие составы наносят в виде 4-5% растворов этих соединений в органических растворителях или 20% водных растворов. Гидрофобная пленка образуется через 2-5 часов после нанесения; а через 5 суток она приобретает водоотталкивающие свойства. Эффект несмачиваемости поверхности бетона сохраняется до 10 лет. Способ устройства и материал защитного покрытия конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред, в значительной степени зависит от места расположения в зданиях и сооружениях.

Для защиты подошвы фундаментов, расположенных ниже существующего уровня слабо- и среднеагрессивных грунтовых вод, устраивается подготовка из втрамбованного в грунт щебня не менее 100 мм с проливкой битумом до полного насыщения. Если среда сильноагрессивная, то по подготовке укладывается стяжка из кислотостойкого асфальта и двухслойная рулонная изоляция.

Защита поверхностей подземных конструкций и сооружений производится соответственно: в слабоагрессивной среде - битумными и битумно-латексными покрытиями; в среднеагрессивной среде - асфальтобетоном, рулонными битумными материалами; в сильноагрессивной среде - эпоксидными, битумно-эпоксидными лакокрасочными материалами, полимеррастворами, оклеечными химически стойкими пленочными, листовыми и плиточными полимерными материалами. На рис.23.1. приведены некоторые варианты решений защиты от коррозии фундамента колонн каркаса зданий. Железобетонные конструкции, находящиеся под воздействием электрических полей и при наличии блуждающих токов, подвержены действию электрохимической коррозии. В этих случаях помимо упомянутых выше применяются способы электрохимической защиты.

Антикоррозионная защита надземных бетонных и железобетонных конструкций выполняются в виде покрытий: лакокрасочных, штукатурных на основе битума и полимерных материалов; оклеечных, рулонных и пленочных химически стойких материалов; облицовочных из штучных химически стойких материалов (керамический кислотоупорный кирпич и плитка; каменное литье, ситаллы, пластмассы и др.).

Защита от коррозии деревянных конструкций

Пассивная защита деревянных конструкций обеспечивается выбором пород древесины, стойких в заданных условиях эксплуатации, и предварительной пропиткой древесины синтетическими смолами и другими веществами.

Например, для деревянных конструкций, предназначенных к эксплуатации в химических средах средне- и сильноагрессивных предъявляются следующие требования: для изготовления конструкций применяется древесина хвойных пород; несущие конструкции изготовляются из элементов сплошного сечения.

Активная защита деревянных конструкций от коррозии, вызываемой биологическими агентами, осуществляется: в слабо- и среднеагрессивных средах антисептиками и влагостойкими лакокрасочными покрытиями или влагобиостойкими пропиточными составами (фтористый натрий и т.д.); в сильноагрессивных средах - консервированием маслянистыми или трудносмываемыми

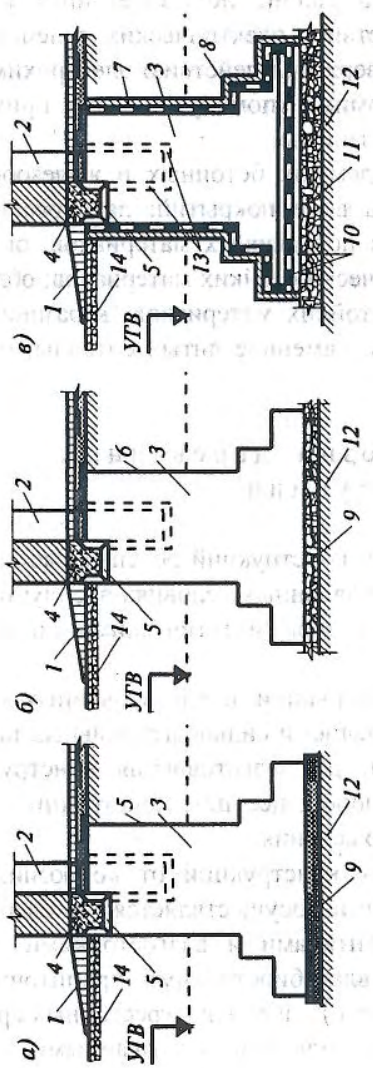


Рис. 23.1. Защита фундамента колонн каркаса здания в зависимости от степени агрессивности грунтовой воды:
а) слабая степень; *б)* средняя; *в)* сильная; *1* – отмостка; *2* – колонна каркаса здания; *3* – железобетонный столбчатый фундамент; *4* – железобетонная фундаментная балка; *5* – оклеечное или мастичное покрытие; *6* – мастичное покрытие; *7* – оклеечная изоляция; *8* – защитная стенка; *9* – подготовка из плотного бетона; *10* – стяжка из цементно-песчаного раствора; *11* – щебень с проливкой битумом до полного насыщения; *12* – грунт основания; *13* – прослойка из полимеррастворa; *14* – утрамбованное щебеночное основание

антисептиками (масло каменноугольное, сланцевое, антраценовое), различными препаратами из сернокислой меди, буры, борной кислоты и других веществ. Для защиты от действия насекомых (долговой жук-усач и др.) - сильнодействующие интексициды: ДДТ, дихлофос, карбофос и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Что служит агрессивной средой для строительных конструкций?
2. Какие материалы наиболее эффективны для антикоррозионной защиты конструкций?
3. Что такое пассивная и активная защита от коррозии?
4. Назовите основные мероприятия для антикоррозионной защиты металлических, бетонных и железобетонных и деревянных конструкций.

Дополнительная литература

1. *Бабушкин В.И.* Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. - Харьков, 1989.
2. *Рахимов Р.З.* Долговечность строительных материалов: Учебное пособие. - Казань: КХТИ, 1988.
3. *Сафрончик В.И.* Защита от коррозии строительных конструкций и технологического оборудования. - Л.: Стройиздат, 1988.
4. *Соломатов В.И., Селяев В.П.* Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1987.
5. *Алексеев С.Н.* и др. Долговечность железобетона в агрессивных средах. - М.: Стройиздат, 1990.
6. *Гусев Б.В.* и др. Математические модели процессов коррозии бетона. М.:ТИМР. 1996.

Глава XXIV. РЕМОНТ И РЕСТАВРАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ

§ 1. Общие сведения

Ремонт, реставрация, а также усиление конструкций можно проводить при помощи эффективных материалов, конструктивных решений и производстве работ. Ремонту и реставрации подвергаются различные конструкции: каменные, бетонные, железобетонные, металлические и др. Для металлических конструкций и арматуры при этом главным является применение резки, сварки, для деревянных конструкций - замена старой древесины новой и закрепление ее при помощи болтов, врубок, клея и др. Ремонт каменных, бетонных и железобетонных конструкций связан с их надежной монолитностью, что осуществляется соответствующими материалами: цементными составами - бетонами и строительными растворами, полимерцементными составами, когда полимер вводится, как добавка и, наконец, полимерными составами, в которых связующим является только полимер. Как показала мировая практика, последние дают наивысшие результаты монолитности. Поэтому этому направлению уделяется главное внимание.

Надежная монолитность необходима при различных работах, основные из них следующие: заделка трещин, раковин, отколов проводимых иногда одновременно с устройством защитных покрытий; замоноличивание стыков, пазов и швов конструкций; устройство сборно-монолитных конструкций, которые должны работать как единое целое; укладка бетона в монолитные сооружения, возводимые с перерывом в бетонировании; усиление конструкций путем намоноличивания слоев бетона в сжатой зоне или приклеивания арматуры, стальных листов, стеклоткани в растянутой зоне; скрепление отдельных кирпичей, камней, блоков, элементов между собой.

Таким образом при ремонте, реставрации и новом строительстве могут встречаться различные варианты строительных работ, где должна быть обеспечена монолитность конструкций. Можно привести тому много примеров. Например, уникальный памятник древнего зодчества египетский храм Абу-Симбел, вырубленный в скале более 3000 лет назад, оказался в районе затопления вследствие возведения Асуанской плотины. Храм высотой 33 м, шириной 38 м и глубиной 63 м с четырьмя статуями Рамзеса II был распилен на отдельные блоки и смонтирован на новом месте. Известково-песчаные блоки были соединены эпоксидным составом, камень после обработки полимером значительно повысил свою прочность на сжатие (рис. 24.1).

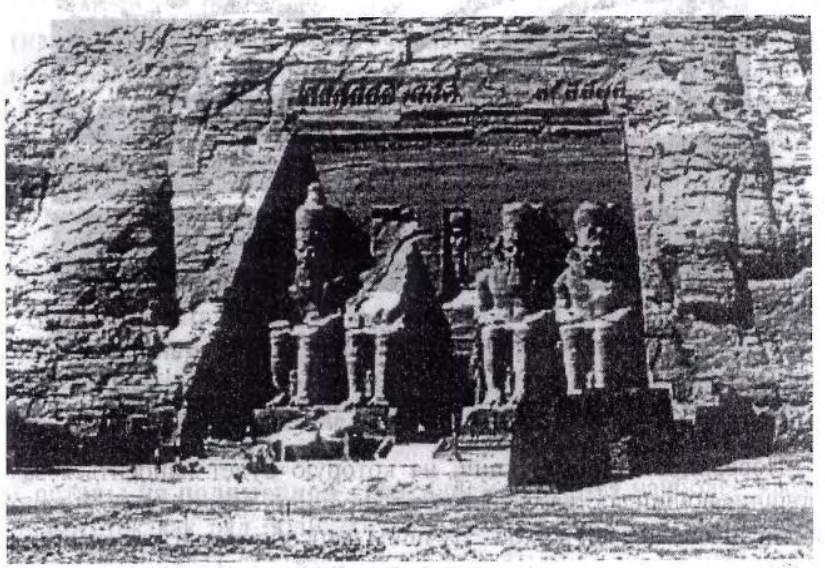


Рис. 24.1. Храм Абу-Симбел в Египте (после переноса)

Другой пример - строительство ультрасовременного оперного театра в Сиднее (Австралия). Покрытие театра представляет собой сложную железобетонную конструкцию криволинейного очертания, выполненную из сборных сегментных элементов. Эти элементы изготовлялись заранее и сопрягались между собой эпоксидным составом с последующим обжатием пучковой арматурой. Сборные сегменты имеют переменное сечение: ширину от 0,3 до 3,64 м и высоту от 1,2 до 2,1 м. Толщина эпоксидных швов колебалась от 0,4 до 2,4 мм (рис. 24.2).

Для проведения ремонтных работ необходимо: подготовить ремонтируемую поверхность, выбрать замоноличивающий состав в зависимости от возможности осуществления ремонтных работ и дальнейшей эксплуатации конструкции, провести замоноличивание, используя специальный инструмент и оборудование.

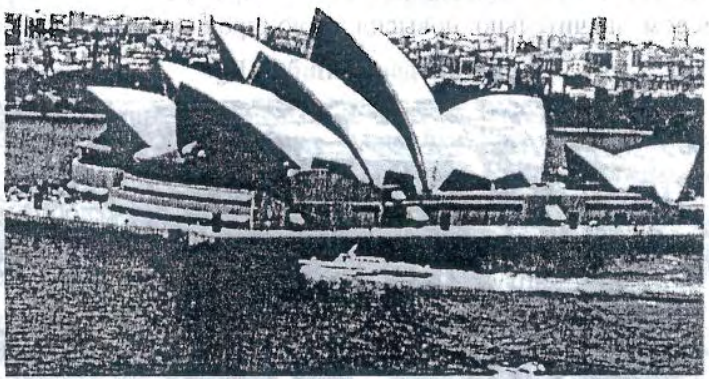


Рис. 24.2. Оперный театр в Сиднее

§ 2. Подготовка поверхности и выбор состава

Поверхность конструкции, на которую будет наноситься замоноличивающий состав, должна быть прочной, чистой (обезжиренной и обеспыленной) и сухой. Лучшим способом очистки, например, поверхности бетона считается пескоструйная обработка. Наряду с этим большое распространение имеет также обработка поверхности 20-25%-ным раствором соляной кислоты. Расход кислоты составляет примерно 1,1 л на $м^2$ поверхности. Масла и другие жирные вещества удаляют 10%-ным раствором каустической соды - 1,5 л на $м^2$, раствором кремнекислого натрия с добавкой канифольного мыла или такими сильными растворителями, как метасиликат или трифосфат натрия. Растворитель разливают по поверхности и с помощью щетки очищают бетон. Затем поверхность промывают нейтральным или слегка щелочным раствором и только после этого приступают к обработке поверхности раствором соляной кислоты. Реакция между кислотой и известью, содержащейся в бетоне, протекает в течение 3-5 мин, далее поверхность промывают водяной струей высокого давления и обрабатывают щетками для удаления образовавшихся солей и слабых частей бетона. Степень промывки проверяют лакмусовой бумагой. При обработке удаляется поверхностная пленка, которая не обладает большой прочностью (если прочность достаточная, то пленку не удаляют) и поверхность бетона становится шероховатой. Перед укладкой выбранного состава поверхность должна быть полностью просушена (сжатым воздухом, горячим воздухом, инфракрасными лампами и др.).

Бетоны и строительные растворы на основе минерального вяжущего могут быть использованы для ремонта, при обеспечении высокой прочности сцепления в швах. Важным свойством составов является адгезия (клеящая способность) вяжущего. Наилучшей адгезией (например, с зернами песка) обладают жидкое растворимое стекло и магнезиальный шлам, портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент, а также расширяющийся и безусадочный цементы; худшей - цуццолановый и шлакопортландцемент. Высокая прочность сцепления цементного теста наблюдается с цементным камнем, чугуном, мрамором, гематитом, гранитом: хуже - с литой и прокатной сталью, бокситом и нулевая - с алюминием. При стыковании старого бетона с вновь уложенным на портландцементе по границе раздела образуются кристаллы $Ca(OH)_2$, связывающие бетон в монолит и служащие "сшивкой". Введение полимерных добавок в цемент, как например, поливинилацетата (ПВА). значительно повышает адгезию, поэтому **полимерцементные бетоны** используются для ремонтных работ (гл. XIV).

Составы на полимерном связующем являются наиболее эффективными. так как ряд полимеров обладает высокой адгезией (выше чем у минеральных вяжущих) и в зонах стыкования не происходит разрушения. В качестве полимерных связующих используют в первую очередь эпоксидные смолы, а также при определенных условиях - полиэфирные, инденкумароновые, полиуретановые. фенолформальдегидные, карбамидные и др. Применение эпоксидных составов обеспечивает высокую прочность замоноличивания конструкций, не уступающую прочности монолита. Это объясняется химическим взаимодействием эпоксидных и гидроксильных групп смолы с SiO_2, содержащимся в цементном камне и заполнителе бетона. Применение эпоксидных составов дает возможность сократить сроки монтажа сооружения, по сравнению с применением обычных бетонов, они хорошо зарекомендовали себя при различных ремонтных работах.

§ 3. Заделка трещин и другие ремонтные работы

Наиболее трудоемкой операцией при ремонте каменных, бетонных и железобетонных конструкций является ликвидация трещин. Трещины заделываются инъецированием (ширина раскрытия более 0,1 мм) или поверхностной затиркой (ширина раскрытия менее

0,1 мм). Другие дефекты заделываются полимерными мастиками (глубина до 5 мм) или полимербетоном (глубина более 5 мм).

Инъекцирование клея производят самотеком или под давлением шприцами (см. рис. 15.3) или при помощи установки с компрессором.

Заделка трещин инъекцированием выполняется в определенной последовательности: вдоль трещин прорезаются абразивным диском пазы и продуваются воздухом; просверливаются отверстия в трещинах и в них устанавливаются ниппели для нагнетания клея; герметизируются трещины посредством заполнения пазов полимербетоном или гипсом.

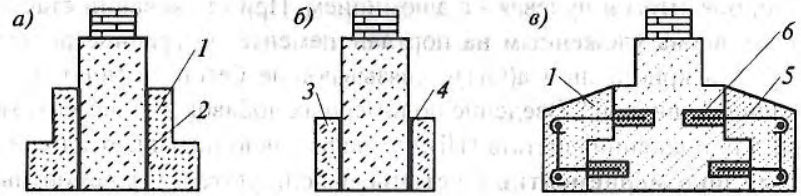


Рис. 24.3. Усиление фундаментов:

а) ленточных, устройством приливов-башмаков из монолитного бетона;
б) то же, приклеиванием сборных элементов усиления;
в) то же. устройством приливов-башмаков с армированной связью с фундаментом; *1* - монолитный башмак; *2* - адгезионная промазка; *3* - сборный элемент усиления; *4* - эпоксидный полимерраствор; *5* - арматура; *6* - шурф, заполняемый полимер-раствором

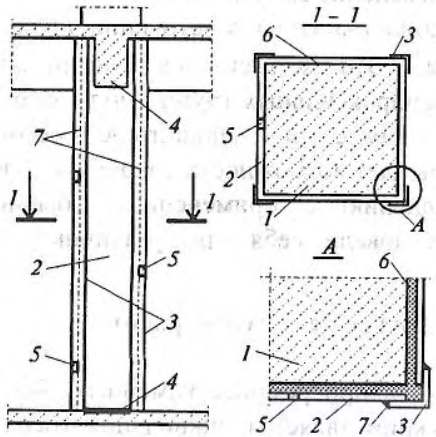


Рис. 24.4. Усиление колонны стальными листами:
1 - усиливаемая колонна;
2- стальной лист;
3 - уголок: *4* - герметизация;
5 - отверстия с нарезкой;
6 - эпоксидный клей;
7 - сварной шов

Для обеспечения прочного **сцепления нового бетона со старым** поверхность, старого бетона промазывают тонким слоем эпоксидного клея. Укладка нового бетона производится в течение определенного времени, обусловленного адгезионной жизнеспособностью клея (это характеризуется его предельным возрастом, при котором возможно нанесение клея). Для того, чтобы не снизить сил сцепления при температурном расширении, а также чтобы погасить усадочные деформации вновь уложенного бетона, вводят, например, тиокол. Следует учитывать щелочную среду и высокую влажность в зоне контакта, поэтому можно применять аминофенольные отвердители АФ-2 и поверхностно-активные вещества типа ОП-27.

При склеивании природных камней или затвердевших бетонов поверхности подготавливают указанным выше способом и эпоксидные клеевые швы делают небольшой толщины - до 2-3 мм, в зависимости от степени неровности поверхности. Чем ровнее поверхность, тем тоньше клеевой шов. С увеличением толщины шва его прочность понижается.

Эпоксидные составы широко применяются при ремонтных и восстановительных работах в дорожном и аэродромном строительстве, в мостостроении, гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве (рис. 24.3 и рис. 24.4).

Вопросы для самоконтроля

1. Почему полимерные составы наиболее эффективны для ремонта бетона и естественного камня?
2. Какие основные операции необходимо обеспечить при проведении ремонтных работ?
3. В каких конструкциях и сооружениях широко используется полимерные составы для ремонтных работ?

Дополнительная литература

1. *Микульский В.Г., Игонин Л.А.* Сцепление и склеивание бетона в сооружениях. - М.: Стройиздат, 1965.
2. *Микульский В.Г., Козлов В.В.* Склеивание бетона - М.: Стройиздат, 1975.

3. Справочник по клеям и клеящим мастикам в строительстве /Под ред. В.Г. Микульского, О.Л. Фиговского. - М.: Стройиздат, 1984.

4. Рекомендации по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций полимерными составами. - М.: НИИЖБ, 1986.

5. Рекомендации по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона /Науч. рук. В.А.Лисенко. - М.: Стройиздат, 1987.

6. Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимербетонами. ТбилЗНИИЭП. - М.: Стройиздат, 1990.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоклав 235
Адгезия 66
Аглопорит 283
Активные минеральные добавки 221
Акустическая штукатурка 426
Алит 209
Алюминиевая пудра 290
Алюминиевые сплавы 453
Ангидрит 191
Андезит 335
Антипирены 335
Антисептики 338
Арболит 484
Арматура
- для бетона 175
- неметаллическая 500
- стальная 175

Асбест 243
Асбестоцемент 242
Асфальт природный 346
Асфальтены 347
Асфальтовый раствор 353

Б

Базальт 79
Базальтовое волокно 409
Белит 209
Бетон 252
- вибрированный 468
- высокопрочный 293
- гидротехнический 294
- дорожный 295
- жаростойкий 296
- кислотоупорный 298
- крупнопористый 287
- легкий на пористых
- заполнителях 282
- мелкозернистый 299
- радиационностойкий 298
- серный 300
- сборный 464
- тяжелый 254
- ячеистый 288

Бетонополимер 383
Биостойкость 407
Биотит 73
Бумажнослоистые пластики 377
Битумированный картон 390
Битумостеклохолст 391
Битум 345
Блоки стеклянные 143
Бутовый камень 106

В

Вакуумирование бетона 472
Вата минеральная 407
Вермикулит вспученный 413
Вибрирование бетона 468
Вибропрессование бетона 471
Вибропрокат бетона 471
Виброштампование бетона 471
Водонепроницаемость 29
Водопоглощение 27
Водостойкость 28
Возгораемость 35
Волокнистостружечные плиты 414
Вулканит 411
Вяжущие
- минеральные 190
- органические 346, 360

Г

Габбро 77
Газобетон 275
Газосиликат 275
Герметики 399
Герметизирующие материалы 399
Гернит 400
Гигроскопичность 25
Гидроизол 391
Гидроизоляционные

материалы 388
Гипс 191
- высокопрочный 192
- природный 191
- строительный 192
Гипсобетон 288
Гипсовые изделия 219
Гипсоцементнопуццолановое вяжущее 224
Глазурь 116, 118
Глина 113
Глифталевые смолы 378
Гнейс 91
Горизонтальное формование листового стекла 139
Гравий 256
Гранит 75
Гранулы пенополистирола 415
Грибы домовые 333

Д

Деготь 351
Дегтебетон 355
Диабаз 80
Диатомит 89
Диорит 76
Дислокации 46
Доломит 87
Древесноволокнистые плиты 414
Древесностружечные плиты 414
Древеснослоистые пластики 343, 358, 379

Ж

Жаростойкость 297
Железобетон 464
Жестокость бетонной смеси 260
Жидкое стекло 199

З

Заполнители
- для бетона 254
- плотные 256
- пористые 283
Защита от коррозии 506

И

Известняк 87
Известь
- воздушная 194
- гидравлическая 191
- молотая негашеная 196
Изол 393
Ингибиторы коррозии 510

К

Каолинит 114
Карбмидный полимер 366
Кварц 72
Кварцит 92
Керамзит 282
Керамика 111
- отделочная 126
- санитарно-техническая 132
- эффективная 123
Керамические
- плитки 128
- стеновые материалы 123
- теплоизоляционные
- материалы 282
Кирпич 410
- глиняный 123
- силикатный 236
Кислотоупорные материалы 199
Клеи 381
Клеевые составы 517
Клинкер цементный 202
Ковровые материалы для покрытия полов 379
Композиционные материалы 58, 382
Коррозия бетона и железобетона 211
Краски
- известковые 444
- клеевые 444
- масляные 441
- силикатные 444
- эмалевые 441

- эмульсионные (латексные) 442
Кремнийорганические соединения 366
Кровельные материалы 389

Л

Лабрадорит 77
Лакокрасочные материалы 434
Лесоматериалы 449
строительные 378
Линолеумы 377

М

Магнезиальные вяжущие 198
Материалы для покрытия полов 378
Металлы 154
- черные 154, 181
- цветные 185
Металлоизол 393
Минеральная вата 407
Минераловатные изделия 408
Мипора 416
Морозостойкость 31
Мочевиноформальдегидные смолы 366
Мрамор 92
Мусковит 73

Н

Наполнители 357
Натяжение арматуры 464

О

Обжиг изделий 121
Облицовочные материалы 447
Огнезащитные материалы 335
Огнеупорность 35
Огнеупорные материалы 133
Опал 83
Отвердители 358
Отжиг 171

П

Паркет 338
Пасты 397
Пек 351
Пемза 80
Пенопласты теплоизоляционные 415
Пеносиликат 289
Пеностекло 411
Перлит 283
Пепел вулканический 70
Песок 254
Песчано-гравийная смесь 256
Пигменты 439
Пиломатериалы 488
Плавни 116
Плотность 22
Пергамин 390
Поливинилхлорид 363
Полимеры 356
Полимербетон 375
Полимерные материалы 356
Полимерцемент 382
Полимерцементный бетон 382
Полиметилметакрилат 364
Полистирол 363
Полиэтилен 362
Полиэфирные смолы 367
Поропласт 372
Портландцемент 202
Промышленные отходы 93
Проницаемость 29
Пропаривание бетона 473
Противоморозные добавки 307

Р

Растворители 395
Реология 52
Релаксация 53
Рубероид 390

С

Силикатный
- бетон 235
- кирпич 236
Синтетические волокна 384
Слоистые пластики 377
Сталь

- листовая оцинкованная 455
- строительная 175
Стекловолокнистые нетканные материалы 150
Стекло
- жидкое 199
- растворимое 199
- строительное 137
- ячеистое 148
Стеклянная вата 149
Стеклопластики 376
Стеклянное волокно 149
Стеклянные облицовочные материалы 146
Сухие смеси 310
Сушка
- древесины 335
- сырца 120

Т

Твердение бетона 472
Тепловлажностная обработка бетона 472
Теплоемкость 34
Теплопроводность 33
Термозит 283
Трепел 89
Туф
- вулканический 81
- известняковый 81

У

Удобоукладываемость бетона 260
Упругость бетона 277
Усадка бетона 278
Ускорители твердения бетона 474
Усушка древесины 321

Ф

Фанера 339
Фарфор 132
Фаянс 132
Фенолформальдегидная смола 366
Фибробетон 301
Фибролит 378

Ц

Цемент
- безусадочный 227
- белый 225
- быстротвердеющий 224
- гидрофобный 220
- глиноземистый 225
- напрягающий 228
- пуццолановый 222
- расширяющийся 227
- цветной 225
- шлаковый 223

Ч

Черепица 130
Чугун 181

Ш

Шамот 297
Шлаки 223
Шлакопортландцемент 223
Шлакощелочной бетон 301
Шпон 339
Шунгизит 283

Щ

Щебень 256

Э

Экологические аспекты строительных материалов 12
Экструзия 370
Эмульсии битумные 397
Эпоксидные смолы 367
Эттрингит 210

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ **3**
ВВЕДЕНИЕ **5**
РАЗДЕЛ I. СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
Глава I. Строение и основные свойства **13**
§1. Общие сведения 15
§2. Связь строения, состава и свойств 18
§3. Физико-химические методы оценки состава и структуры 18
§4. Физические свойства 22
§5. Механические свойства 36
Вопросы для самоконтроля 57
Дополнительная литература 57
Глава II. Понятие о композиционных материалах **58**
§1. Общие сведения 58
§2. Состав и строение композита 59
§3. Оценка матрицы и упрочнителя в формировании свойств композита 63
§4. Строительные материалы – композиты 65
Вопросы для самоконтроля 67
Дополнительная литература 68
Глава III. Состав, строение и свойства сырья для производства строительных материалов **68**
§1. Общие сведения 68
§2. Магматические горные породы (изверженные) 70
§3. Осадочные горные породы 81
§4. Метаморфические горные породы 90
§5. Техногенные отходы 92
Вопросы для самоконтроля 100
Дополнительная литература 100
РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ
Глава IV. Природные каменные материалы **101**
§1. Общие сведения 101
§2. Обработка природных каменных материалов 105
§3. Классификация природных изделий по эксплуатационно-техническим свойствам 105
§4. Применение природных каменных материалов и изделий 106
§5. Предохранение каменных материалов от разрушения 110
Вопросы для самоконтроля 111
Дополнительная литература 111

А. Строительные материалы и изделия, получаемые термической обработкой минерального сырья

Глава V. Керамические материалы ... 111
§1. Общие сведения ... 111
§2. Сырье для производства керамических материалов ... 113
§3. Общая схема производства керамических изделий ... 116
§4. Структура и общие свойства керамических изделий ... 122
§5. Стеновые изделия ... 123
§6. Облицовочные изделия ... 126
§7. Керамические изделия для кровли и перекрытий ... 130
§8. Санитарно-технические керамические изделия и трубы ... 132
§9. Специальные керамические изделия ... 133
§10. Использование отходов в керамическом производстве ... 135
Вопросы для самоконтроля ... 135
Дополнительная литература ... 135

Глава VI. Стекло и другие материалы на основе минеральных расплавов ... 136
§1. Общие сведения ... 136
§2. Стекло и его свойства ... 137
§3. Стеклянные материалы ... 141
§4. Ситаллы, шлакоситаллы и ситаллопласты ... 150
§5. Изделия из каменных расплавов ... 151
§6. Использование отходов в производстве плавленных изделий 153
Вопросы для самоконтроля ... 153
Дополнительная литература ... 154

Глава VII. Металлические материалы ... 154
§1. Общие сведения ... 154
§2. Атомно-кристаллическое строение металлов ... 156
§3. Основы получения чугуна и стали ... 158
§4. Механические свойства металлов ... 159
§5. Кристаллизация и фазовый состав железоуглеродистых сплавов ... 163
§6. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали 168
§7. Модифицирование структуры и свойств стали ... 169
§8. Конструкционные строительные стали ... 175
§9. Стальная арматура для железобетонных конструкций ... 179
§10. Чугун ... 181
§11. Цветные металлы ... 185
Вопросы для самоконтроля ... 189
Дополнительная литература ... 190

Глава VIII. Неорганические вяжущие вещества ... 190
§1. Общие сведения ... 190
§2. Воздушные вяжущие вещества ... 191
§3. Гидравлические вяжущие вещества ... 200

§4. Специальные виды портландцемента ... 218
§5. Глиноземистый цемент ... 225
§6. Расширяющиеся и безусадочные цементы ... 227
Вопросы для самоконтроля ... 228
Дополнительная литература ... 228

Б. Строительные материалы на основе неорганических вяжущи веществ

Глава IX. Искусственные каменные материалы ... 229
§1. Общие сведения ... 229
§2. Материалы на основе гипса ... 229
§3. Материалы на основе извести (силикатные изделия) ... 234
§4. Материалы на основе цемента ... 242
Вопросы для самоконтроля ... 251
Дополнительная литература ... 251

Глава X. Бетоны ... 252
§1. Общие сведения ... 252
§2. Тяжелый бетон ... 254
§3. Свойства бетонной смеси ... 259
§4. Прочность бетона ... 265
§5. Определение состава бетона ... 268
§6. Марки и классы бетона ... 272
§7. Свойства бетона ... 277
§8. Легкие бетоны ... 282
§9. Особые виды бетона ... 293
Вопросы для самоконтроля ... 302
Дополнительная литература ... 302

Глава XI. Строительные растворы ... 303
§1. Общие сведения ... 303
§2. Материалы для изготовления растворных смесей ... 303
§3. Свойства строительных растворов ... 304
§4. Виды строительных растворов ... 308
§5. Сухие смеси ... 310
Вопросы для самоконтроля ... 312
Дополнительная литература ... 312

В. Строительные материалы на основе органического сырья

Глава XII. Лесные материалы ... 313
§1. Общие сведения ... 313
§2. Строение и состав ... 314
§3. Свойства древесины ... 319
§4. Пороки древесины ... 329
§5. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания ... 335
§6. Материалы и изделия из древесины ... 338
§7. Биокомпозиты ... 343

Вопросы для самоконтроля ... 344
Дополнительная литература ... 345
Глава XIII. Битумные и дегтевые вяжущие вещества и бетоны (растворы) на их основе ... 345
§1. Общие сведения ... 345
§2. Битумные вяжущие вещества ... 346
§3. Дегтевые вяжущие вещества ... 351
§4. Асфальтовые бетоны и растворы ... 353
Вопросы для самоконтроля ... 355
Дополнительная литература ... 355
Глава XIV. Полимерные материалы ... 356
§1. Общие сведения ... 356
§2. Состав и свойства пластмасс ... 357
§3. Связующие вещества ... 360
§4. Основы производства полимерных материалов ... 369
§5. Некоторые изделия из полимерных материалов ... 375
§6. Модификация строительных материалов полимерами ... 382
Вопросы для самоконтроля ... 387
Дополнительная литература ... 387

Г. Строительные материалы специального назначения

Глава XV. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы ... 388
§1. Общие сведения ... 388
§2. Кровельные материалы ... 389
§3. Гидроизоляционные материалы ... 398
§4. Герметизирующие материалы ... 399
Вопросы для самоконтроля ... 401
Дополнительная литература ... 401

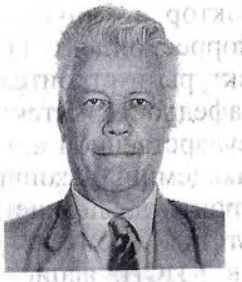
Глава XVI. Теплоизоляционные материалы ... 402
§1. Общие сведения ... 402
§2. Строение и свойства ... 403
§3. Неорганические теплоизоляционные материалы ... 407
§4. Органические теплоизоляционные материалы ... 413
§5. Применение теплоизоляционных изделий ... 417
Вопросы для самоконтроля ... 420
Дополнительная литература ... 420
Глава XVII. Акустические материалы ... 421
§1. Общие сведения ... 421
§2. Звукопоглощающие материалы ... 422
§3. Звукоизоляционные материалы ... 427
Вопросы для самоконтроля ... 431
Дополнительная литература ... 431
Глава XVIII. Отделочные материалы ... 432
§1. Общие сведения ... 432
§2. Красочные материалы ... 434
§3. Природный и искусственный камень ... 445
§4. Керамика, стекло, металл ... 447
§5. Лесные материалы ... 449
§6. Полимерные материалы ... 450
Вопросы для самоконтроля ... 451
Дополнительная литература ... 451

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Глава XIX. Металлические конструкции ... 453
§1. Общие сведения ... 453
§2. Стальные конструкции ... 455
§3. Алюминиевые конструкции ... 458
Вопросы для самоконтроля ... 463
Дополнительная литература ... 463
Глава XX. Железобетонные и каменные конструкции ... 464
§1. Общие сведения ... 464
§2. Изготовление железобетонных конструкций ... 465
§3. Применение бетонов в сборных железобетонных конструкциях ... 475
§4. Применение бетонов в монолитных железобетонных конструкциях ... 478
§5. Каменные конструкции ... 481
§6. Вторичное использование материала каменных, бетонных и железобетонных конструкций ... 484
Вопросы для самоконтроля ... 485
Дополнительная литература ... 486
Глава XXI. Деревянные конструкции ... 486
§1. Общие сведения ... 486
§2. Материалы для деревянных конструкций ... 487
§3. Деревянные клееные конструкции и сборные дома ... 489
Вопросы для самоконтроля ... 495
Дополнительная литература ... 495
Глава XXII. Полимерные конструкции ... 496
§1. Общие сведения ... 496
§2. Пневматические конструкции ... 497
§3. Оболочки из пластмасс ... 498
§4. Полимербетонные конструкции ... 500
§5. Трехслойные панели ... 501
Вопросы для самоконтроля ... 504
Дополнительная литература ... 504
Глава XXIII. Антикоррозионная защита конструкций ... 504
§1. Общие сведения ... 504

§2. Материалы для защиты от коррозии 506
§3. Защита от коррозии строительных конструкций 507
Вопросы для самоконтроля 513
Дополнительная литература 513
Глава XXIV. Ремонт и реставрация конструкций 514
§1. Общие сведения 514
§2. Подготовка поверхности и выбор состава 516
§3. Заделка трещин и другие ремонтные работы 517
Вопросы для самоконтроля 519
Дополнительная литература 519
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 521
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 531

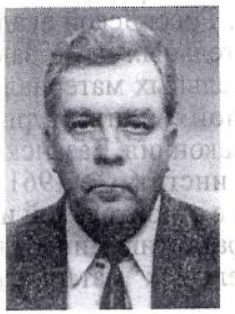
Сведения об авторах



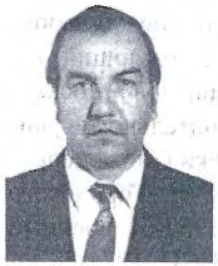
В.Г. Микульский, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, член-корреспондент Международной инженерной академии, заведующий кафедрой Строительных материалов Московского государственного строительного университета; закончил Московский инженерно-строительный институт, ф-т Городского строительства и хозяйства; 1952-61 военный инженер по защитным сооружениям; с 1961 г. в МИСИ, 1974-78 заведующий кафедрой Органических строительных материалов и пластмасс; 1968-70 и 1978-83 сотрудник ЮНЕСКО; научные труды по проблемам сцепления и склеивания бетонов, модификации строительных материалов полимерами.



Г.И. Горчаков, доктор технических наук, профессор, лауреат государственной премии; закончил Московский инженерно-строительный институт, ф-т Гидротехнического строительства; участник Великой Отечественной Войны (1941-45 гг.), аспирант МИСИ, 1950-56 ВНИИЦемент, с 1956 в МИСИ; 1968-89 заведующий кафедрой Строительных материалов; ученый в области физической коррозии и защиты бетона и железобетона.



В.В. Козлов, доктор технических наук, профессор кафедры Строительных материалов Московского государственного строительного университета; закончил Московский институт инженеров транспорта, ф-т Мосты и тоннели; 1961-66 Метрострой, Гидропроект, НИИЖб, с 1966 в МИСИ; научные труды по применению полимеров в строительстве, монолитности железобетонных конструкций.



В.Н.Куприянов, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, заведующий кафедрой архитектуры, ректор Казанской государственной архитектурно-строительной академии; закончил Казанский инженерно-строительный институт в 1963г., факультет Строительно-технологический, затем в КИСИ, аспирант ВНИИСМа, научное направление: пленочно-тканевые материалы для строительных конструкций.



Л.П.Орентлихер, доктор технических наук, профессор кафедры Строительных материалов Московского государственного строительного университета; закончила Московский инженерно-строительный институт, ф-т Строительно технологический; 1952-55 Главмосстрой, с 1955 в МИСИ; научные труды по легким бетонам на пористых заполнителях для стен, комплексному повышению их стойкости гидрофобизацией и покрытиями.



Р.З.Рахимов, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, лауреат государственной премии Татарстана, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, заведующий кафедрой Строительных материалов Казанской государственной архитектурно-строительной академии; закончил Казанский инженерно-строительный институт в 1961 г; ф-т Строительно-технологический; работал в строительной индустрии, затем в КИСИ; научные труды по развитию минерально-производственных комплексов строительных материалов Поволжья.



Г.П.Сахаров, доктор технических наук, профессор кафедры Строительных материалов Московского государственного строительного университета; закончил Московский инженерно-строительный институт, ф-т Промышленного и гражданского строительства.; 1953-62 на стройках Урала, Дальнего Востока, Москвы, с 1962 в МИСИ; научное направление: безавтоклавный ячеистый бетон, методы системного подхода теории надежности, вероятности, статистики к качеству материалов и конструкций.



В.М.Хрулев, доктор технических наук, профессор кафедры Строительных материалов и специальной технологии Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета, заслуженный деятель науки и техники, действительный член Жилищно-коммунальной академии РФ; закончил Новосибирский институт военных инженеров транспорта, по специальности - строитель; 1953-59 производство и аспирантура в ЦНИИСКе, с 1963 в НИСИ, 1971-99 заведующий кафедрой Полимерных и теплоизоляционных материалов; научные труды по изготовлению клееных деревянных изделий и конструкций.

Учебное издание

Валентин Гаврилович Микульский
Григорий Иванович Горчаков
Валерий Васильевич Козлов
Валерий Николаевич Куприянов
Лидия Петровна Орентлихер
Равиль Зуфарович Рахимов
Григорий Петрович Сахаров
Валентин Михайлович Хрулев

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(Материаловедение и Технология)

Компьютерный набор, верстка: С.А. Иванова, Л.Н. Григорян
Редактор: О.А. Гладкова

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 08.11.2003.
Подписано к печати 20.12.03. Формат 60x90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 33,5 п. л. Тираж 5000 экз. Заказ № 9453

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе 26, оф. 704
тел., факс: 183-57-42
e-mail: iasv@mgsu.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6