

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Братский государственный университет»

А.В. Косых, Н.А. Лохова, И.А. Макарова

ИСКУССТВЕННЫЕ И ПРИРОДНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Учебное пособие

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство»

Братск 2006

УДК 691

Косых, А.В. Искусственные и природные строительные материалы и изделия: учеб. пособие / А.В. Косых, Н.А. Лохова, И.А. Макарова. – Братск: БрГУ, 2006. – 188 с.

ISBN 5-8166-0164-4

В учебном пособии приведены сведения об основных свойствах главнейших видов искусственных строительных материалов и изделий, а также методах их оценки, которые позволят определить области их рационального применения в конкретных условиях эксплуатации зданий и сооружений.

Рецензенты: В.В. Воронин, д-р техн. наук, проф. кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов (МГСУ).
Кафедра строительных материалов и спецтехнологий (НГАСУ).

ISBN 5-8166-0164-4

© ГОУ ВПО «БрГУ», 2006

© Косых А.В., Лохова Н.А., Макарова И.А., 2006

ВВЕДЕНИЕ

Строительные композиционные материалы во всем своем многообразии могут рассматриваться как искусственные и природные композиты.

Изучение общих закономерностей формирования их структуры и свойств является основной целью дисциплины «Строительное материаловедение. Технология конструкционных материалов».

Триада «структура – технология – свойства» иллюстрирует невозможность изучения строительных материалов в отрыве от технологии, поскольку управление их структурой и свойствами осуществляется именно через технологию.

Пособие содержит информацию об эффективных строительных материалах, методах определения их ключевых свойств и способах управления их структурой.

Выбор конкретных видов искусственных строительных материалов и изделий различных способов монолитизации, описанных в пособии, произведен с учетом отечественного и зарубежного опыта их применения, а также сложившихся рыночных приоритетов.

При этом учтено разделение вяжущих веществ на воздушные и гидравлические, с детальным освещением типичных представителей каждой группы.

В разделах, содержащих сведения о древесине и горных породах, раскрыты возможности архитектурно-строительных материалов с улучшенными показателями эстетических и эксплуатационных свойств из природных ресурсов Сибири. Включение раздела по оценке свойств зернистых нерудных материалов обосновано массовостью их использования в строительстве.

Представленная в пособии теоретическая информация о технологических особенностях производства строительных материалов в совокупности с основными сведениями о методах определения их свойств служит базой для творческого восприятия строительного материаловедения студентами, обучающимися по направлению 653500 Строительство. Таким образом, изложенный в пособии теоретический материал, содержащий информацию прикладного значения, позволит дополнить и углубить сведения, полученные на лекционных занятиях.

Введение, заключение, разделы «Взаимосвязь состава и строения строительных материалов с их свойствами», «Керамические стеновые и теплоизоляционные материалы», «Металлы и сплавы» составлены Н.А. Лоховой; разделы «Древесина», «Природные каменные материалы», «Основные свойства строительных материалов» (п.1.1 – 1.7) – И.А. Макаровой; разделы «Строительный гипс», «Портландцемент», «Проектирование состава тяжелого бетона», «Строительные растворы», «Нерудные зернистые материалы» – А.В. Косых.

Авторы выражают глубокую благодарность профессорам, докторам технических наук В.В. Воронину (МГСУ), Н.А. Машкину и В.Ф. Завадскому (НГАСУ) за ценные замечания и информационную поддержку при создании пособия.

1. ВЗАИМОСВЯЗЬ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ИХ СВОЙСТВАМИ

Строительные материалы подразделяют на природные и искусственные. Природные материалы получают непосредственно из недр земли или путем механической переработки природных ресурсов, придавая им рациональную форму и размеры, но не изменяя внутреннего строения и химического состава сырья.

Искусственные строительные материалы производят из природного или техногенного сырья путем переработки с привлечением специального оборудования и энергетических затрат. Искусственные материалы отличаются от исходного сырья как по строению, так и по химическому составу.

В свою очередь, искусственные материалы разделяют по способу их «отвердевания» (омоноличивания) на безобжиговые, автоклавные и обжиговые материалы.

Материалы, отвердевание которых происходит при обычных, сравнительно невысоких температурах, с кристаллизацией новообразований из растворов относят к *безобжиговым материалам*.

Автоклавными называют материалы, омоноличивание которых осуществляется в условиях автоклавирования, т.е. при повышенных температуре и давлении пара, с синтезированием цементирующих и кристаллизующихся соединений непосредственно в автоклавах.

Материалы, отвердевание которых происходит при остывании расплавов, выполняющих функцию вяжущего вещества или, по выражению академика А.А. Байкова, «цемента высоких температур», относят к *обжиговым материалам*.

Выделение этих трех типов условно, так как нередко отвердевание происходит при совмещенных процессах кристаллизации и остекловывания. Кроме того, в безобжиговых конгломератах частично применяются обжиговые минеральные вяжущие вещества.

Строительные материалы во всем своем многообразии могут рассматриваться как искусственные и природные композиты на полиструктурной основе. Композиционные строительные материалы состоят из двух компонентов или фаз, взаимодействующих между собой через поверхности раздела, при этом качественные признаки композита и его составляющих различаются.

Свойства строительного материала зависят от его вещественного состава и структуры. Под последней подразумевается пространственное расположение частиц.

Качество строительных материалов определяется степенью соответствия их свойств техническим требованиям с учетом климатических и иных условий работы конструкций и сооружений.

Используя данное учебное пособие, можно ознакомиться с определением ключевых свойств ряда природных и искусственных материалов, наиболее широко применяемых в строительстве в условиях Восточной Сибири. Перечень обязательных мероприятий по испытанию этих материалов, методики их определения и предъявляемые к ним требования приведены в пособии в соответствии с действующими ГОСТами и техническими условиями.

Учебное пособие способствует расширению и закреплению знаний, полученных студентами на занятиях по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», а также подготавливает к освоению процедуры оценки качества, рассматриваемой при изучении дисциплины «Стандартизация и метрология».

Для более подробного и детального изучения теоретических вопросов и нормативных требований целесообразно обращение к источникам информации, приведенным в списке литературы.

Строительные материалы обладают макро- и микроструктурой. *Макроструктура* различима невооруженным глазом или при помощи лупы. Изучение *микроструктуры* требует специального

оснащения. Так, макроструктура искусственного строительного композита образована совмещением микроструктуры вяжущего вещества и полизернистых или иных видов (волоконистых и др.) грубодисперсных частиц заполнителя, а также поровой частью.

Макроструктуру с выраженной прослойкой «вяжущего» между частицами «заполнителя» называют *порфировой*. *Контактная макроструктура* отличается прямым контактированием «заполнителя».

В зависимости от характера связей контактируемых частиц различают (по П.А. Ребиндеру) следующие *типы микроструктур*: коагуляционные, конденсационные, кристаллизационные.

В образовании *коагуляционных* микроструктур участвуют сравнительно слабые силы молекулярного взаимодействия – вандер-ваальсовы силы сцепления, действующие через прослойку жидкой фазы. Такие структуры характеризуются пониженной прочностью, способностью к тиксотропии, к восстановлению структуры, разрушенной под механическим воздействием.

Конденсационные микроструктуры возникают при непосредственном взаимодействии частиц в соответствии с валентностью контактирующих атомов или под влиянием ионных и ковалентных связей.

Кристаллизационные микроструктуры образуются путем выкристаллизовывания твердой фазы из расплава или раствора и последующего прямого срастания отдельных кристаллов в прочный агрегат, в том числе под влиянием химических связей.

Формирование последних двух микроструктур обуславливает повышенную прочность и хрупкость материала, но лишает его тиксотропии.

Типичны смешанные структуры как совокупности двух или трех одновременно.

Одним из обязательных условий образования композита необходимо считать перевод системы в термодинамически нестабильное состояние. Наиболее простым и часто применяемым способом изменения энергетического состояния рассматриваемых структур является обжиг, когда термодинамическая стабильность нарушается путем передачи тепловой энергии.

Для природных материалов вещественный состав и структура определяются генезисом природного сырьевого ресурса, для искус-

ственных материалов – рецептурой масс и технологией их переработки.

Используемые в настоящее время традиционные строительные материалы, изделия и конструкции не позволяют перейти к созданию качественно нового поколения зданий и сооружений [24].

Создание новых материалов и технологий должно основываться на историческом опыте и учитывать новые требования к архитектурно-эстетическим качествам и социальной комфортности, а также требования по предельно возможной энергоэкономичности, скорости возведения и экологической безопасности при эксплуатации.

По мнению академика В.И. Соломатова, основными задачами в области строительного материаловедения [36] являются:

- разработка и внедрение интенсивных и ресурсосберегающих технологий с гидромеханической, физической и биологической активацией бетонов и изделий из них на минеральных и органических вяжущих с экономией последних до 60–70 % путем отдельного приготовления смеси, применения эффективных наполнителей и модификаторов;

- создание интенсивных биотехнологий производства эффективных и экологически чистых строительных материалов и изделий без использования каких-либо вяжущих с резкой экономией ресурсов, а также биоклеев, биомодификаторов бетона и широкого внедрения биологических методов в традиционные технологии;

- разработка новых технологий строительных материалов с широким использованием шламов, шлаков, зол и других техногенных отходов промышленного и сельскохозяйственного производства;

- обоснование и разработка количественной теории химического, физического и биологического сопротивления строительных материалов с учетом механических воздействий и создание на ее основе прогрессивных методов расчета конструкций, прогноза повышения долговечности зданий и сооружений; создание бетонов-«консервантов» и особо прочных бетонов до 200 МПа и выше;

- разработка эффективных архитектурно-строительных материалов с повышенными показателями эстетических и эксплуатационных свойств, прежде всего материалов с высоким термическим сопротивлением, кровельных, вибропоглощающих, акустических и др.;

– развертывание работ по компьютерному материаловедению
– формированию структуры и конструированию новых композиционных материалов на молекулярном уровне.

Всемерно способствовать формированию кадров строительной индустрии, подготовленных к решению современных задач материаловедения, – основное назначение этого пособия.

1.1. Виды нормативной документации. Классификация материалов и их свойств

Строительные материалы, применяемые при возведении зданий и сооружений, характеризуются разнообразными свойствами, которые определяют качество материалов и области их применения. Особенности строительных материалов, проявляющиеся при воздействии различных явлений и других материалов, называются их свойствами, а совокупность свойств, определяющих пригодность материалов для применения по назначению, характеризует их качество.

Свойства строительных материалов оценивают числовыми показателями, которые устанавливают путем лабораторных испытаний по единообразной стандартной методике.

В Российской Федерации в настоящее время действует Единая государственная система стандартизации, основной целью которой является упорядочение производства и применения строительных материалов, установление высоких требований к их качеству, приведение показателей качества в соответствие с возрастающими запросами строительства. Стандартизация технических требований и методов испытания строительных материалов позволяет осуществлять единую техническую политику, получать воспроизводимые данные в качественных показателях материалов, независимо от места их испытания и применения.

Основными нормативными документами, действующими в нашей стране, являются государственные стандарты (ГОСТы), которые являются обязательными для всех предприятий и организаций независимо от их ведомственного подчинения и формы собственности.

Государственные стандарты разделяются на отдельные виды: технические требования, типы изделий и их основные параметры,

методы испытаний, правила приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения. Большинство стандартов на строительные материалы и изделия – это стандарты технических требований. Значительная их часть связана с физико-механическими характеристиками материалов (плотность, влажность, водопоглощение, прочность, морозостойкость и др.).

Помимо стандартов существуют строительные нормы и правила (СНиП). СНиП – это свод общероссийских нормативных документов по проектированию, строительству и строительным материалам, обязательный для всех организаций и предприятий [17, 37].

Для оценки качества импортных строительных материалов и изделий в стране действует Система сертификации.

Все строительные материалы и изделия можно классифицировать на группы по различным классификационным признакам: видам продукции (штучные, рулонные, мастичные и т.д.); применяемому основному сырью (керамические, на основе минеральных вяжущих, полимерные и т.д.); способам производства (прессованные, вальцево-каландровые, экструзионные и т.д.); назначению (конструкционные, конструкционно-отделочные, декоративно-отделочные); конкретным областям применения (стеновые, кровельные, теплоизоляционные и т.д.); происхождению (естественные, или природные, и искусственные, минерального и органического происхождения) и т.п.

Обоснованный выбор материала для целевого строительного назначения осуществляется с учетом комплекса его свойств.

Свойствами называют способность материалов определенным образом реагировать на воздействие отдельных или совокупности внешних или внутренних силовых, усадочных, тепловых и других факторов. Обычно выделяют пять групп свойств.

Физические свойства характеризуют какую-либо особенность физического состояния или отношение материала к различным физическим процессам. Эта группа включает параметры состояния, гидрофизические и теплофизические свойства, радиационную стойкость.

Механические свойства отражают способность материала сопротивляться силовым, тепловым, усадочным или другим внутренним напряжениям без нарушения установившейся структуры.

К механическим относят деформативные свойства: прочность, твердость, истираемость, сопротивление износу.

Химические свойства определяют способность материала к химическим превращениям при контакте с веществами внешней среды (в том числе агрессивной), к сохранению состава и структуры в условиях инертной окружающей среды, химическому взаимодействию компонентов при получении материалов.

Физико-химические свойства характеризуют влияние физического состояния материала на протекание определенных химических процессов (например, степень дисперсности материала влияет на кинетику химических реакций).

Технологические свойства определяют способность материала к восприятию некоторых технологических операций, изменяющих состояние материала, структуру его поверхности, придающих наружную форму, размеры и т.п. Эта группа свойств включает пластичность, дробимость, гвоздимость, шлифуемость и полируемость.

В прил. 1 указаны основные свойства некоторых строительных материалов.

Существует глубокая связь между свойствами, строением материала и условиями его образования в природных или искусственно созданных условиях. Например, из одних и тех же сырьевых компонентов путем изменения технологических параметров производства можно получить тяжелые, обычные и легкие материалы. Для того чтобы правильно применять в строительстве тот или иной материал, необходимо знать его основные свойства и учитывать условия, в которых он будет работать в строительной конструкции [15, 37].

1.2. Физические свойства

1.2.1. Параметры состояния

Истинная плотность (ρ) – масса (m) единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (V_a):

$$\rho = \frac{m}{V_a}. \quad (1.1)$$

Размерность истинной плотности – г/см^3 , кг/м^3 .

Истинная плотность жидкости и материалов, полученных из расплавленных масс (металла, стекла, а также гранита, мрамора, базальта и других подобных горных пород), практически соответствует их плотности в естественном состоянии, так как объем внутренних пор у них весьма мал.

Средняя плотность (ρ_m) – масса (m) единицы объема материала в естественном состоянии (V_e), т.е. вместе с порами и пустотами:

$$\rho_m = \frac{m}{V_e}. \quad (1.2)$$

Размерность средней плотности – г/см^3 , кг/м^3 (т/м^3). Средняя плотность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от пористости материала. Искусственные материалы можно получать с необходимой средней плотностью. Например, меняя пористость, получают бетон тяжелый (со средней плотностью 1800–2500 кг/м^3) или легкий (со средней плотностью 500–800 кг/м^3).

На величину средней плотности влияет влажность материала: чем выше влажность, тем больше средняя плотность. Среднюю плотность материалов необходимо знать для расчета их пористости, теплопроводности, теплоемкости, прочности конструкции (с учетом собственной массы) и подсчета стоимости перевозок материалов.

Для большинства строительных материалов (кирпич, газобетон, дерево и др.) $\rho > \rho_m$.

Для абсолютно плотных материалов (стекло, металл, битум) $\rho = \rho_m$.

Пористость (Π) – степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = V_n / V_e;$$

$$V_e = V_a + V_n.$$

где V_n – объем пор; V_a и V_e – объем материала соответственно в абсолютно плотном и естественном состоянии.

Расчетно-экспериментальным методом общая пористость определяется по формуле

$$P = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho} \right) \cdot 100\% .$$

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

Общая пористость (P) равна сумме объема закрытых (P_3) и открытых (P_0) пор: $P = P_3 + P_0$. От характера пористости (открытые или закрытые, мелкие или крупные) зависят эксплуатационные свойства материала. В частности, P_3 определяет теплозащитные свойства и долговечность (морозостойкость), а P_0 полезна при создании акустических и звукопоглощающих материалов.

Пористость различных строительных материалов колеблется в значительных пределах и составляет для гранита 0,1 – 4 %, керамического материала 25 – 30 %, тяжелого бетона 5 – 10 %, газобетона 55 – 85 %, пенопласта 95 %, а пористость стекла и металла равна нулю.

Большое влияние на свойства материала оказывают не только величина пористости, но и размер и характер пор: мелкие (0,1 мм) или крупные (от 0,1 до 2 мм), замкнутые или сообщающиеся. Мелкие замкнутые поры, равномерно распределенные по всему объему материала, придают ему теплозащитные свойства.

Плотность и пористость в значительной степени определяют такие свойства материалов, как водопоглощение, водопроницаемость, морозостойкость, прочность, теплопроводность и др.

Насыпная плотность (ρ_n) – масса (m) единицы объема (V_n) рыхло насыпных зернистых или волокнистых материалов (цемент, песок, щебень, глина и др.):

$$\rho_n = \frac{m}{V_n} .$$

Насыпная плотность составляет [$\text{кг}/\text{м}^3$]: для песка – 1500, щебня – 1450, глинистых пород – 1600.

Насыпную плотность необходимо знать для расчета складов, бункеров, транспортных и грузоподъемных операций, а также для определения межзерновой пустотности сыпучих материалов.

1.2.2. Гидрофизические свойства

Гигроскопичность – свойство капиллярно-пористого материала поглощать влагу из воздуха. Гигроскопичность зависит от химического состава материала и характера его пористости. Одни материалы энергично притягивают своей поверхностью молекулы воды (их называют гидрофильными), другие отталкивают их (их относят к гидрофобным). Последние стойко сопротивляются действию водной среды. Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры и капилляры, оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые.

Гигроскопичность, как правило, приводит к ухудшению технических свойств строительных материалов. С ней связано снижение активности (прочности) цемента и других минеральных вяжущих веществ за счет протекающих реакций сорбции паров воды, капиллярной конденсации и химического взаимодействия впитанной влаги с вяжущими. При гигроскопическом увлажнении ухудшаются теплозащитные свойства теплоизоляционных и стеновых материалов, снижается их прочность.

Гигроскопическая влагоемкость достигает (%): для сосны – 14, пено- и шлакобетона – 3, пеностекла – 1,3.

Капиллярное увлажнение – свойство капиллярно-пористого материала впитывать (поглощать) воду (жидкость) при непосредственном соприкосновении (контакте) с ней за счет сил поверхностного натяжения, возникающих на границе раздела твердой и жидкой фаз. Этот показатель характеризуется интенсивностью всасывания, количеством поглощенной воды (жидкости) или высотой поднятия уровня (h) воды (жидкости):

$$h = 2\sigma \cdot \cos\varphi / rg,$$

где σ – поверхность натяжения воды (жидкости); φ – краевой угол смачивания; r – радиус капилляра; g – ускорение свободного падения.

Для гидрофобных материалов (битума, полимеров) $\varphi > 90^\circ$; $\cos \varphi < 0$; $h < 0$, т.е. капиллярного всасывания не происходит. Явление капиллярного увлажнения необходимо учитывать при выборе и монтаже материалов для фундаментов, стен и др. Прежде всего, следует предусматривать гидрофобизацию таких материалов.

Влажность (W) – содержание воды в материале, отнесенное к массе материала в сухом состоянии. Этот показатель зависит от влажности окружающей среды и структуры материала. Для оценки влажности пользуются показателем влажности (W) – отношением количества влаги, содержащейся в материале, к массе материала в сухом состоянии, выраженным в процентах:

$$W = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \cdot 100,$$

где m_1 и m_2 – масса образца материала соответственно сухого и влажного, г.

Влажность учитывают при транспортировке, хранении и приемке материалов. Она влияет на теплопроводность, устойчивость к гниению и другие свойства материала.

Водопоглощение (W_m , W_v) – способность материала поглощать (впитывать) воду и удерживать ее в своих порах. Величина водопоглощения определяется разностью массы образца в насыщенном водой и абсолютно сухом состоянии. Различают объемное водопоглощение (W_v), когда указанная разность отнесена к объему образца, и массовое водопоглощение (W_m), когда эта разность отнесена к массе сухого образца.

Водопоглощение по объему и по массе выражают в процентах и вычисляют по формулам:

$$W_m = [(m_g - m_c) / m_c] \cdot 100,$$

$$W_v = [(m_g - m_c) / V_e] \cdot 100,$$

где m_c и m_g – масса материала соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии, г; V_e – естественный объем материала в сухом состоянии, см³. W_v не может превышать 100 %, а W_m для высокопористых материалов – может. Например, W_m керамических плиток для пола – не выше 4 %, керамического кирпича – 8...20 %, тяжелого бетона – 2...3 %, газобетона – 60...70 %, минераловатных плит – более 100 %.

Насыщение материала водой отрицательно влияет на их основные свойства: увеличиваются средняя плотность и теплопроводность, понижается прочность.

Водостойкость – способность материала сохранять прочность после насыщения водой.

Этот показатель характеризуется величиной коэффициента размягчения (K_p), который равен отношению прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии (R_B) к прочности сухого материала (R_C): $K_p = R_B / R_C$.

Показатель K_p колеблется от 0 (необожженные глиняные материалы) до 1 (стекло, сталь, битум).

Материалы с K_p не менее 0,8 относят к водостойким (кирпич, бетон).

Влагоотдача – свойство материала отдавать влагу окружающей среде (воздуху), характеризуемое количеством воды (в процентах по массе или объему стандартного образца), теряемой материалом в сутки при относительной влажности окружающего воздуха 60 % и температуре 20 °С.

Величина влагоотдачи имеет большое значение для многих материалов и изделий, например для стеновых панелей и блоков, мокрой штукатурки стен, которые в процессе возведения здания обычно имеют повышенную влажность, а в обычных условиях благодаря влагоотдаче высыхают. Вода испаряется до тех пор, пока не установится равновесие между влажностью материала стен и влажностью окружающего воздуха, т.е. пока материал не достигнет воздушно – сухого состояния.

Водопроницаемость – способность материала пропускать через свою толщу воду под давлением. Этот показатель характеризуется коэффициентом водопроницаемости (K_b), который равен количеству воды (V_b), прошедшей в течение одного часа через образец материала площадью (S) и толщиной (a) при разности давлений ($p_1 - p_2$) на граничных поверхностях материала:

$$K_b = V_b a / [S(p_1 - p_2) t],$$

Марка по водопроницаемости (W_n) обозначает одностороннее гидростатическое давление, при котором образец не пропускает воду в условиях стандартного испытания. Материалу присваиваются следующие марки по водопроницаемости: W_2 , W_4 , W_6 , W_8 , W_{12} . Цифра указывает величину гидростатического давления в атмосферах. Чем ниже коэффициент водопроницаемости (K_b), тем выше марка по водопроницаемости (W_n). Водопроницаемость необходимо учитывать при выборе материалов для гидротехнического стро-

ительства, устройства резервуаров. К водонепроницаемым материалам относятся особо плотные (сталь, стекло, битум) и плотные материалы с замкнутыми порами (гидротехнический бетон специально подобранного состава). Высокой водонепроницаемостью отличаются гидроизоляционные, антикоррозионные и герметизирующие материалы.

Влажностные деформации – свойство пористых материалов изменять размеры (объем) при изменении его влажности. При насыщении материала водой происходит его *набухание*, а при сушке – *усадка*. Например, величина усадки составляет (мм/м): для древесины поперек волокон – 30...100; для ячеистого бетона – 1...3; для кирпича – 0,3...0,7. Чередование увлажнения и высыхания пористого материала сопровождается попеременными деформациями набухания и усадки. Такие деформации наиболее характерны для конструкции из дерева и на основе древесных отходов (ДСП, ДВП, арболит). Влажностные деформации учитывают для назначения допусков при монтаже изделий.

Морозостойкость – свойство насыщенного водой материала выдерживать попеременное замораживание и оттаивание с допустимой потерей прочности не более 25 % и массы не более 5 %.

Заморозание воды, заполняющей поры материалов, сопровождается увеличением ее объема примерно на 9 %, в результате чего возникает давление на стенки пор, приводящее к разрушению материала. Если образцы материала после испытания на морозостойкость не имеют следов разрушения, то ее степень устанавливают по коэффициенту морозостойкости $K_p = R_B/R_F$, где R_B , R_F – прочность при сжатии образцов соответственно в насыщенном водой состоянии и после испытания на морозостойкость. При $K_p > 0,75$ материал признается морозостойким.

Морозостойкость материала количественно оценивается маркой, измеряемой в циклах попеременного замораживания и оттаивания (F). Испытания проводятся путем переменного увлажнения материала в ванне с водой комнатной температуры и замораживания в холодильной камере при температуре от -15 °С до -20 °С.

Один – два цикла замораживания в лабораторных условиях дают эффект, близкий к 3...5-годичному атмосферному (погодному) воздействию.

Существует также ускоренный метод испытания, по которому образцы погружают в насыщенный раствор $Na_2 SO_4$ и затем высу-

шиваются при температуре 10...110 °С, при этом в порах материала образуются кристаллы $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ со значительным увеличением в объеме. Один цикл такого испытания приравнивается к 5...10 циклам прямых испытаний замораживанием. К строительным материалам в зависимости от вида конструкции и характера работы сооружения предъявляют различные требования по морозостойкости. Так, марки по морозостойкости должны составлять: для стеновых материалов – F15, F25, F35; для дорожных F50, F100, F200; для гидротехнических бетонов – F до 500.

Воздухостойкость – способность материала длительно выдерживать многократное систематическое увлажнение и высушивание без значительных деформаций и потери механической прочности. Испытанию на воздухостойкость должны подвергаться материалы, применяемые для цокольной части зданий, для устройства кровель, бетонов переменного уровня гидротехнических сооружений и др. [15, 37].

1.2.3. Теплофизические свойства

Теплофизические свойства материала проявляются при воздействии на него тепловой энергии или температуры.

Теплопроводность – способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Теплопроводность материала (λ), измеряемая в Вт/(м·°С) или Вт/(м·К), характеризуется количеством теплоты, проходящей через стену толщиной 1 м и площадью 1 м² при перепаде температур на противоположных поверхностях в 1°С в течение 1 часа. Теплопроводность служит сравнительной характеристикой при оценке теплозащитных свойств различных материалов и зависит от многих факторов: природы материала, его строения, пористости, влажности, а также средней температуры, при которой происходит передача теплоты. Материал кристаллического строения обычно более теплопроводен, чем аморфного. Если материал имеет слоистое или волокнистое строение, то теплопроводность его зависит от направления потока теплоты по отношению к волокнам, например, теплопроводность древесины вдоль волокон в два раза больше, чем поперек.

На теплопроводность материала в значительной мере влияют величина пористости, размер и характер пор. Мелкопористые материалы менее теплопроводны, чем крупнопористые, даже если их пористость одинакова. Материалы с замкнутыми порами имеют меньшую теплопроводность, чем материалы с сообщающимися порами. Теплопроводность однородного материала зависит от величины его средней плотности.

На практике теплопроводность материала определяют по формуле В.Н. Некрасова в зависимости от величины его средней плотности (ρ_m):

$$\lambda = 1,16 \left(\sqrt{0,0196 + 0,22\rho_m^2} - 0,14 \right),$$

где ρ_m имеет размерность т/м³.

Точное значение λ обычно определяют экспериментально.

Теплопроводность для некоторых распространенных материалов [Вт/(м·°С)]: тяжелый бетон – 1...1,7; кирпич керамический – 0,7...0,8; легкий бетон – 0,25...0,4; газобетон – 0,1...0,2; изделия из минеральной ваты – 0,04...0,09; поропласты – 0,03...0,04; воздух – 0,002; вода – 0,58.

Влажные материалы более теплопроводны, чем сухие. Объясняется это тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. При повышении температуры теплопроводность увеличивается, что имеет значение для теплоизоляционных материалов, применяемых для изоляции трубопровода, котельных установок и др.

Теплопроводность – важный показатель при выборе материала для ограждающих конструкций и определении их толщины, а также расчете толщины материала для тепловой изоляции горячих поверхностей (котлы, трубопроводы и др.).

Величину, обратную теплопроводности, называют *термическим сопротивлением* и определяют по формуле

$$R = \frac{a}{\lambda},$$

где a – толщина слоя материала, м.

При расчете многослойной ограждающей конструкции (стены) формула принимает вид

$$R = \frac{a_1}{\lambda_1} + \frac{a_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{a_n}{\lambda_n} + 0,2,$$

где a_1, a_2, a_n – толщина слоев, м; $\lambda, \lambda_2, \lambda_n$ – теплопроводность материала каждого слоя, Вт/(м·°С); 0,2 – сумма термического сопротивления воздуха у наружной и внутренней сторон ограждающей конструкции.

Теплоемкость – свойство материала поглощать при нагревании определенное количество теплоты и выделять ее при охлаждении.

Показателем теплоемкости служит удельная теплоемкость (С), которая показывает количество тепла, необходимого для нагревания 1 кг материала на 1 °С:

$$C = Q/[m(t_2 - t_1)],$$

где Q – количество тепла, затраченного на нагревание материала от t_1 до t_2 , Дж; m – масса материала, кг. Размерность теплоемкости – Дж/(кг·°С). Удельная теплоемкость [кДж/(кг·°С)] воды составляет 4,2; лесных материалов – 2,4...2,7; тяжелого бетона – 0,8...0,9; природных каменных материалов – 0,75...0,92; стали – 0,5.

Теплоемкость материалов учитывают при расчетах теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, подогрева составляющих бетона и раствора для зимних работ, а также при расчете печей.

С повышением влажности материала теплоемкость возрастает.

Огнестойкость – способность материала противостоять действию высоких температур и воды в условиях пожара.

Строительные материалы по огнестойкости подразделяются на негораемые, трудногораемые, сгораемые.

Негораемые материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К этим материалам относят природные каменные материалы, кирпич, бетон, сталь. *Трудногораемые* материалы под действием огня с трудом воспламеняются, тлеют или обугливаются, но после удаления источника огня их горение и тление прекращаются. Примером таких материалов могут служить древесно-цементный материал фибролит и асфальтовый бетон. *Сгораемые* материалы под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются и продол-

жают гореть после удаления источника огня. В первую очередь это древесина, войлок, толь и рубероид.

Тепловое расширение – способность материала расширяться при нагревании. Этот показатель характеризуется коэффициентами линейного (α) и объемного (β) термического расширения, между которыми существует математическая зависимость $\beta \cong 3\alpha$. Коэффициент термического расширения (КТР) численно равен относительному удлинению образца материала при нагревании на 1°C и выражается в $\text{м}/^\circ\text{C}$. Это свойство имеет важное значение при проектировании температурно-деформационных швов в гидротехнических сооружениях, зданиях большой протяженности, бетонных облицовках каналов, при создании композиционных материалов (например, бетон, глазуванная керамика). КТР для тяжелого бетона $(10...14)^{10^{-6}}$ и стали $-(11,0,,11,9)^{10^{-6}}$ $\text{м}/^\circ\text{C}$ 10^{-6} относительно близки, что позволило создать железобетон, отличающийся высокой прочностью.

Огнеупорность – свойство материала противостоять длительному воздействию высоких температур, не деформируясь и не расплавляясь. По степени огнеупорности материалы подразделяются на легкоплавкие (огнеупорность менее 1350°C), тугоплавкие ($1350...1580^\circ\text{C}$), огнеупорные (более 1580°C).

Показатель огнеупорности важно знать для материалов, применяемых для футеровки печей, тепловых агрегатов, газоходов [15, 37].

1.3. Механические свойства

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться деформирующему или разрушающему воздействию внешних сил. К механическим свойствам относят прочность, упругость, пластичность, хрупкость, сопротивление удару, твердость, истираемость, износ.

Материал может деформироваться под действием внешних сил. При этом возникает достижение деформаций до величины, при которой материал разрушится. После снятия нагрузки материал может восстанавливать размеры и форму или оставаться в деформированном виде (при условии, что он не был разрушен). Один и тот же материал может подвергаться всем видам деформаций при разных нагрузках. В то же время деформации возникают у разных

материалов при одинаковой или разных нагрузках. Характер и величина деформации зависят также от скорости нагружения и температуры материала. Чаще всего с повышением скорости нагружения и с понижением температуры деформации по своему характеру приближаются к упругопластичным.

Упругость – свойство материала сопротивляться под нагрузкой, принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Наибольшее напряжение, при котором материал еще обладает такой способностью, называется пределом упругости. Упругость является положительным свойством строительных материалов. В качестве примера можно назвать резину, сталь, древесину.

Модуль упругости (модуль Юнга) характеризует меру жесткости материала, т.е. его способность сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении внешних сил. Известно соотношение, выражающее закон Гука:

$$\varepsilon = \sigma/E,$$

где σ – одноосное напряжение; E – упругая относительная деформация.

Существует прямая зависимость модуля упругости от вида и энергии химических связей, действующих между атомами и молекулами данного материала. Материалы с высокой энергией межатомных связей характеризуются большим модулем упругости.

Пластичность – свойство материала изменять под нагрузкой размеры и форму без образования трещин и разрывов и сохранять эту форму после удаления нагрузки. Это свойство противоположно упругости и его необходимо учитывать при выборе материалов для несущих конструкций. Для несущих конструкций целесообразно применять материалы, которые наряду с большой упругостью обладают высокой пластичностью. Разрушение в подобных материалах не будет происходить внезапно, как, например, у стали.

К пластичным материалам относятся глиняное тесто, свинец, нагретый битум.

Хрупкость – свойство материала мгновенно разрушаться под действием нагрузки без предварительной деформации. Как правило, хрупкость проявляется при ударных нагрузках. Обычно для хрупких материалов пределы прочности при растяжении и сжатии значительно отличаются (в 10... 15 раз и более). Характер разруше-

ния строительных материалов зависит от температуры, влажности, скорости нагружения. К хрупким материалам относят природные камни, керамические материалы, стекло, чугун.

Релаксация – свойство материала самопроизвольно снижать напряжения при условии, что начальная величина деформации зафиксирована жесткими связями и остается неизменной. При релаксации напряжений может измениться характер начальной деформации, например, из упругой постепенно перейти в необратимую (пластическую), при этом изменения размеров не происходит. Такое исчезновение напряжений возможно за счет межмолекулярных перемещений и переориентации внутримолекулярной структуры.

Время, в течение которого первоначальная величина напряжения снижается в $e = 2,718$ раз (e – основание натуральных логарифмов), называют *периодом релаксации*, который меняется от 10^{-10} с для материалов жидкой консистенции до $2 \cdot 10^{-10}$ с (десятки лет и больше) – для твердых материалов. Чем меньше период релаксаций, тем более деформативен материал.

Прочность – свойство материала сопротивляться, не разрушаясь, внутренним напряжениям и деформациям, возникающим от внешних нагрузок. Строительные материалы в зданиях и сооружениях испытывают различные внутренние напряжения (сжатие, растяжение, изгиб, срез, удар и др.). От прочностных показателей зависит выбор максимальных нагрузок, которые может воспринимать данный элемент при заданном сечении. Кроме того, по заданной нагрузке можно рассчитать целесообразное сечение конструкций из данного материала.

Прочность материала характеризуется пределом прочности при сжатии, изгибе, растяжении (МПа). Пределом прочности называют напряжение, соответствующее нагрузке, при которой происходит разрушение материала. Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) или растяжении ($R_{раст}$) вычисляют по формуле

$$R_{сж} (R_{раст}) = \frac{P}{S},$$

где P – разрушающая сила, Н; S – площадь сечения образца до испытания, мм^2 .

Для определения предела прочности при изгибе ($R_{и}$) испытывают образцы материалов в виде балочек, расположенных на двух

опорах. В зависимости от схемы загрузки образца расчет предела прочности при изгибе (МПа) производят по формулам:

– при одном грузе, расположенном по середине балки прямоугольного сечения:

$$R_u = 3Pl / (2bh^2);$$

– при двух равных грузах, расположенных симметрично горизонтальной оси балки:

$$Ru = 3P(l - a) / (bh^2),$$

где P – разрушающая сила, Н; l – расстояние между опорами, мм; a – расстояние между грузами, мм; b и h – ширина и высота балки в поперечном сечении, мм.

Предел прочности материала определяют опытным путем, испытывая в лаборатории на гидравлических прессах или разрывных машинах специально изготовленные образцы. Для испытания материалов на сжатие образцы изготавливают в виде куба или цилиндра, на растяжение – в виде круглых стержней или полос, а на изгиб – в виде балочек. Форма и размеры образцов должны строго соответствовать требованиям ГОСТа или технических условий (ТУ) на каждый вид материала (табл. 1.1, 1.2).

Предел прочности материала (чаще при сжатии) характеризует его марку. Этот показатель для строительных материалов колеблется в широких пределах: от 0,5 до 1000 МПа и более. Марка по прочности является основным показателем для материалов и изделий, из которых выполняют несущие конструкции. Для большинства материалов предел прочности при сжатии значительно ниже, чем при изгибе. Так, каменные материалы при растяжении выдерживают нагрузку меньше в 10...15 раз и более, чем при сжатии. Исключение составляют древесина, сталь и полимерные материалы.

Для строительных материалов, работающих в сооружениях, действующее напряжение должно быть меньше величины предела его прочности. В результате создается запас прочности, который необходим материалу по ряду причин: из-за неоднородности материала, возможности значительной деформации и появления трещин еще до достижения предела прочности, усталости материала при переменных нагрузках, «старение» материала под влиянием окружающей среды и т.д. Запас прочности устанавливается нормативными требованиями в зависимости от вида и качества материала, долговечности и класса сооружения.

Схема стандартных методов определения прочности при сжатии

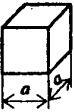
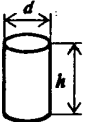
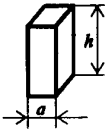
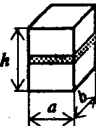
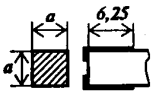
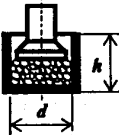
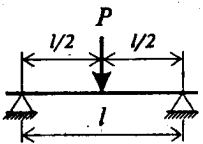
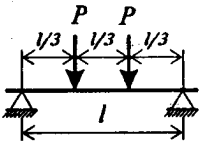
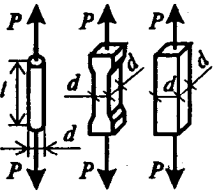
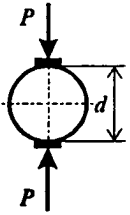
| Образец | Эскиз | Расчетная формула | Материал | Размер стандартного образца, см |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| Куб |  | $R = \frac{P}{a^2}$ | Бетон Раствор | 10×10×10; 15×15×15; 20×20×20 7,07×7,07×7,07; |
| | | | Природный камень | 5×5×5 и др. |
| 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 |  | $D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100$ | Крупный заполнитель для бетона | d=15; h=15 |

Таблица 1.2

Схема стандартных методов определения прочности при изгибе и растяжении

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

Часто для оценки прочностной эффективности материала используют *коэффициент конструктивного качества* (К.К.К.), величина которого определяется делением предела прочности при сжатии на среднюю плотность $R_{сж}/\rho_m$ материала. Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую среднюю плотность и более высокую прочность.

Строительные материалы, предназначенные для устройства полов промышленных зданий, дорожных и аэродромных покрытий, тротуаров и др., должны обладать специальными механическими свойствами а именно: сопротивление удару, твердость, истираемость и износостойкость.

Сопротивлением удару называют свойство материала сопротивляться разрушению под действием ударных нагрузок. Испытания производят на приборах – копрах. Сопротивление удару характеризуется работой, затраченной на разрушение стандартного образца (Дж) и отнесенной к единице его объема (m^3) или площади (m^2).

Твердостью называют свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого материала. Твердость природных каменных материалов однородного строения определяют по шкале Мооса, которая составлена на 10 минералов с условным показателем твердости от 1 до 10 (самый мягкий – тальк с условным показателем 1, самый твердый – алмаз с показателем 10). Специально подобранные минералы расположены в такой последовательности, когда следующий по порядку материал оставляет черту на предыдущем. Показатель твердости испытываемого материала находится между показателями твердости двух соседних, из которых один царапает испытываемый материал, а на другом он сам оставляет черту. Твердость бетона, пластмасс определяют вдавливанием в испытываемый образец стандартного стального шарика. О величине твердости судят по глубине вдавливания шарика или по диаметру полученного отпечатка. Показатели твердости, полученные разными способами, нельзя сравнивать друг с другом. Высокая прочность материала не всегда говорит о его твердости (например, древесина по прочности при сжатии равнозначна бетону, а ее твердость значительно меньше, чем у бетона). Для некоторых материалов (например, металлов) существует определенная связь между твердостью и прочностью, для других

(однородных каменных материалов) – между твердостью и истираемостью.

Истираемость – называют свойство материала изменяться в объеме или массе под действием истирающих усилий. Одновременное воздействие истирания и удара характеризует износостойкость материала. Оба эти свойства определяют различными условными методами: истираемость – на специальных машинах (кругах) истирания, а износ – с помощью вращающихся барабанов, в которые вместе с пробой материала часто загружают определенное количество металлических шаров, усиливающих эффект измельчения. За характеристику истираемости принимают потерю массы или объема материала, отнесенных к 1 см² площади истирания, а за характеристику износа – относительную потерю массы образца в процентах от пробы материала. Допустимые показатели истираемости и износа нормируются в соответствующих стандартах [15, 37]

1.4. Химические и физико-химические свойства

Химические свойства характеризуют способность материала к химическим превращениям под воздействием веществ, с которыми он находится в соприкосновении.

Химическая стойкость – свойство материала сопротивляться действиям агрессивной среды. Агрессивная среда (кислоты, щелочи, растворы солей, газы), взаимодействуя с материалом, в ряде случаев вызывает его разрушение (коррозию). Степень разрушения зависит прежде всего от состава материала и его плотности. Коррозионную стойкость оценивают химическим анализом. Для приближенной оценки химической стойкости материала в кислых и щелочных средах можно воспользоваться модулем основности M_0 :

$$M_0 = \frac{[\%CaO + \%MgO + \%Na_2O(K_2O)]}{(\%SiO_2 + \%Al_2O_3)}.$$

При небольшом модуле основности, когда в неорганическом материале преобладает кремнезем, наблюдается высокая стойкость к кислотам. Если в составе неорганического материала преобладают основные оксиды и модуль основности достаточно высок, то этот материал обычно нестойк к кислотам и при этом не разруша-

ется щелочами. Органические материалы (древесина, битумы, пластмассы) при обычных температурах относительно стойки к действию слабых кислот и щелочной среды. Однако значительная часть строительных материалов не обладает достаточной стойкостью к действию агрессивной среды и требует специальной защиты от коррозии.

Физико-химические свойства характеризуют влияние физического состояния материалов на протекание определенных химических процессов. К таковым относятся: дисперсность, адгезия, структурная прочность, вязкость.

Дисперсность характеризует размеры твердых частиц и капель жидкости. Некоторые строительные материалы (гипсовые вяжущие, цемент, глина, пигменты и т.п.) находятся в дисперсном состоянии и обладают большой суммарной поверхностью частиц. Показателем степени раздробленности материала и развитости его поверхности является удельная поверхность $S_{уд}$, которая характеризуется как поверхность единицы объема ($см^2/см^3$) или массы ($см^2/г$) материала.

Физико-химические свойства поверхностного слоя дисперсных частиц вещества сильно отличаются от его свойств «в массе». Тончайший поверхностный слой вещества обладает особым запасом энергии, поэтому с увеличением его удельной поверхности возрастает и его химическая активность, так как атомы (молекулы) на поверхности вещества находятся в неуравновешенном состоянии. В частности, цемент с удельной поверхностью $3000...3500 см^2/г$ через одни сутки твердения связывает $10...13 \%$ воды, а с удельной поверхностью $4500...5000 см^2/г$ – около 18% .

Адгезия – свойство одного материала прилипать к поверхности другого. Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, формы, состояния поверхности и условий контакта и развивается в результате сложных поверхностных явлений, возникающих на границе раздела фаз. Этот показатель характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого. Важное значение адгезионные свойства имеют при получении композиционных материалов и изделий (бетонов разных видов, клееных изделий и конструкций, отделочных материалов).

Многие строительные материалы в процессе их изготовления проходят стадию пластично-вязкого состояния (гипсовое, цементное, глиняное тесто, свежеприготовленные растворные и бетонные

смеси, мастики, формуемые материалы из полимеров и т.д.). По своим физическим свойствам пластично-вязкие тела занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми. В частности, тесто можно разрезать ножом, чего нельзя сделать с жидкими материалами, и в то же время оно принимает форму сосуда, в который помещено, т.е. ведет себя как жидкость. Пластично-вязкие смеси характеризуются реологическими показателями: структурной прочностью, вязкостью и тиксотропией.

Структурная прочность – прочность внутренних связей между частями материала. Ее оценивают предельным напряжением сдвига, соответствующим напряжению в материале, при котором он начинает течь подобно жидкости. Это происходит тогда, когда в материале нарушаются внутренние связи между частицами – разрушается структура.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию при деформировании образцов. Когда пластично-вязкий материал начинает течь, напряжения в материале зависят уже от скорости его деформации. Коэффициент пропорциональности, связывающий скорость деформации и необходимое для этого напряжение, называют вязкостью η (Па·с).

Тиксотропия – способность пластично-вязких смесей обратно восстанавливать свою структуру, разрушенную механическими воздействиями. Физическая основа тиксотропии – разрушение структурных связей внутри пластично-вязкого материала, при этом материал теряет структурную прочность и превращается в вязкую жидкость, а после прекращения механического воздействия материал обретает структурную прочность. Явление тиксотропии используют при виброуплотнении бетонных и растворных смесей, при нанесении мастичных и окрасочных составов шпателем или кистью и т.д. [15].

1.5. Технологические свойства

Технологические свойства, такие как дробимость, распиливаемость, шлифуемость, имеет важное практическое значение, ибо от них зависят качество и стоимость готовых изделий и конструкций. Для оценки технологических свойств некоторых материалов разработаны числовые показатели и методы их определения (например, дробимость каменных материалов, подвижность и удобоукладыва-

емость бетонных смесей, укрывистость красочных составов и др.). Для большинства же материалов установлены лишь качественные характеристики технологических свойств [15].

1.6. Методы определения физических свойств материалов

При испытании искусственных и природных каменных материалов определяют следующие физические свойства: истинную плотность, среднюю плотность, пористость, водопоглощение, влажность, морозостойкость.

1.6.1. Определение параметров состояния

Определение истинной плотности. Истинную плотность материала – массу единицы объёма вещества в абсолютно-плотном состоянии (без пор) – вычисляют по формуле

$$\rho_u = \frac{m}{V_a},$$

где m – масса сухого (высушенного до постоянной массы при 100...110 °С) материала в абсолютно плотном состоянии, кг (г); V_a – объём материала без пор и пустот, м³ (см³).

Для проведения испытания используют пикнометрический способ. Материал в ступке измельчают в порошок. Просеянный через сито № 0125 порошок высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 100...110 °С, а затем охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры. От подготовленной пробы отвешивают на электронных весах 3...5 г (m_1) материала (рис. 1, а) и всыпают ложечкой через воронку в предварительно взвешенный пикнометр известной массы, затем аккуратно добавляют жидкость (воду) до тех пор, пока ее уровень не заполнит широкую часть колбы. Для удаления воздуха необходимо энергично повернуть 2...3 раза пикнометр вокруг вертикальной оси и поставить в вакуум-шкаф на 15...20 минут. Операция вакуумирования предназначена для более полного удаления воздуха из микропор и микрощелей материала.

После выдержки в вакуум-шкафу в пикнометр добавляют жидкость до риски и взвешивают на электронных весах (m_3)

(рис. 1.1, в). Затем пикнометр освобождают от содержимого, тщательно промывают, подсушивают в сушильном шкафу и заполняют жидкостью до риски, после чего взвешивают на электронных весах (m_2) (рис. 16).

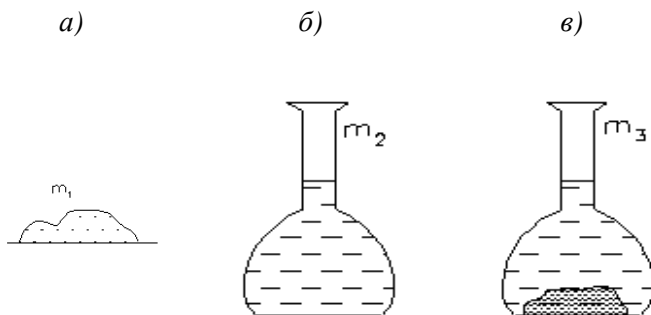


Рис. 1.1. Схема определения истинной плотности

Истинную плотность ρ_u , кг/м³(г/см³), материала вычисляют по формуле

$$\rho_u = \frac{m_1 \cdot \rho_{\text{ж}}}{(m_1 + m_2 - m_3)},$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (рекомендуется применять жидкость инертную по отношению к материалу). В качестве жидкости могут быть использованы дистиллированная вода ($\rho_{\text{в}} = 1,0$ г/см³), керосин ($\rho_{\text{к}} = 0,80$ г/см³), бензин ($\rho_{\text{б}} = 0,71$ г/см³).

Определение средней плотности. Среднюю плотность материала – массу единицы объема вещества в естественном состоянии (с порами) определяют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V_{\text{ест}}},$$

где m – масса сухого (высушенного до постоянной массы при 100...110 °С) материала в естественном состоянии, кг(г); $V_{\text{ест}}$ – объем материала с порами и пустотами, м³ (см³).

Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

Для определения объема образца правильной геометрической формы следует произвести измерения его линейных размеров.

Объем образца (см³), имеющего форму куба или параллелепипеда, вычисляют по формуле:

$$V_{\text{ест}}^{K(n)} = a_{\text{cp}} \cdot b_{\text{cp}} \cdot h_{\text{cp}},$$

где a_{cp} , b_{cp} , h_{cp} – средние значения размеров граней образца, см.

Объем образца цилиндрической формы (см³) определяют по формуле

$$V_{\text{ест}}^{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{cp}}^2 \cdot h_{\text{cp}}}{4},$$

где $\pi - 3,14$; d_{cp} – средний диаметр цилиндра, см; h_{cp} – средняя высота цилиндра, см

Зная объем и массу образца, по формуле (1.1) можно вычислить его среднюю плотность как среднее арифметическое трех ее значений различных образцов. Результаты испытания сравнивают с данными, приведенными в прил. 1. В отчете зарисовывают образцы правильной геометрической формы с указанием размеров.

Определение средней плотности образца неправильной геометрической формы. Методика основана на вытеснении образцом из сосуда жидкости, в которую его погружают, для чего используют гидростатические весы. Высушенный пористый образец неправильной формы взвешивают на электронных весах (m), затем парафинируют (погружают его в расплавленный парафин, предварительно закрепив нитью, либо наносят на него кисточкой тонкий слой парафина). Парафинированный образец взвешивают сначала на воздухе (m_1), затем в воде на гидростатических весах (m_2) (рис. 1.2).

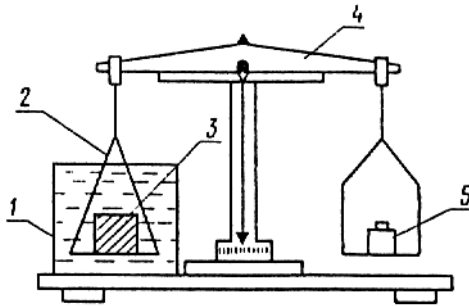


Рис. 1.2. Взвешивание образца на гидростатических весах:
 1 – сосуд с водой; 2 – подвес для образца; 3 – образец; 4 – весы;
 5 – разновес

Среднюю плотность образца неправильной формы ρ_m вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{\frac{(m_1 - m_2)}{\rho_v} - \frac{(m_1 - m)}{\rho_n}},$$

где $(m_1 - m_2)/\rho_v$ – величина, соответствующая объему образца, покрытого парафином, m_3 (см^3) (по закону Архимеда); ρ_v – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\text{г}/\text{см}^3$); $(m_1 - m)/\rho_n$ – величина, соответствующая объему парафина, израсходованного на покрытие образца, m_3 (см^3); ρ_n – плотность парафина, равная $0,93 \text{ г}/\text{см}^3$.

Определение насыпной плотности сыпучих материалов.
 Насыпная плотность – масса единицы объема материала в рыхло-насыпном состоянии.

Для определения насыпной плотности используют мерный цилиндр, объем которого зависит от крупности зерен сыпучего материала: чем выше наибольшая крупность зерен, тем больше объем цилиндра. В частности, объем мерного цилиндра для песка должен быть 1 л, для щебня (гравия) – 5...50 л. Сыпучий материал насыпают совком с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр до образования конуса над его краями. Излишек материала срезают металлической линейкой вровень с краями, цилиндр с сыпучим материалом взвешивают.

Определение насыпной плотности ρ_n производят по формуле

$$\rho_n = \frac{(m_2 - m_1)}{V},$$

где m_1 – масса цилиндра без материала, г (кг); m_2 – масса цилиндра с материалом, г (кг); V – объем цилиндра, см³ (м³).

1.6.2. Определение пористости

Пористостью материала (Π) называют степень заполнения его объема порами. Пористость определяют по формуле

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_n} \right) \cdot 100 \%,$$

где Π – пористость материала, %; ρ_m – средняя плотность материала, г/см³ (кг/м³); ρ_n – истинная плотность материала, г/см³ (кг/м³).

Значения пористости строительных материалов различны и варьируются в очень широких пределах – от 0 (стекло, сталь) до 90...95 % (поропласты, минераловатные плиты).

Важнейшие эксплуатационные свойства материалов – средняя плотность, водопоглощение, водопроницаемость, теплопроводность, морозостойкость и др. – зависят от степени и характера пористости. Например, теплоизоляционные конструкции необходимо изготавливать из материалов с большим объемом мелкой закрытой пористости.

Результаты определений оформляются в виде таблицы (см. форму табл. 1.3).

Форма таблицы 1.3

Результаты оценки параметров состояния материала

| Наименование материала | Средняя плотность образца, кг/м ³ | | Истинная плотность, кг/м ³ | Пористость, % | Теплопроводность, Вт/м ² °С |
|------------------------|--|--------------------|---------------------------------------|---------------|--|
| | Правильной формы | Неправильной формы | | | |
| | | | | | |

1.6.3. Оценка теплопроводности

Теплопроводность называют свойство материала передавать тепло от одной поверхности к другой. Это свойство является главным как для группы теплоизоляционных материалов, так и для

материалов, используемых при устройстве наружных стен и покрытий зданий. Теплопроводность воздуха ($\lambda = 0,023 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$) значительно меньше, чем твердого вещества, из которого состоит «каркас» строительного материала. Поэтому увеличение пористости материала является основным способом уменьшения теплопроводности.

Теплопроводность зависит от пористости (или средней плотности) и может быть выражена эмпирической формулой проф. В. Н. Некрасова:

$$\lambda = 1,16 \left(\sqrt{0,0196 + 0,22\rho_m^2} - 0,14 \right),$$

где λ – теплопроводность, Вт/м $^{\circ}\text{С}$; ρ_m – средняя плотность материала, т/м 3 .

1.6.4. Определение гидрофизических свойств

Определение водопоглощения. Водопоглощение – свойство материала впитывать и удерживать в себе воду при непосредственном контакте с нею.

Различают **водопоглощение по массе** и **водопоглощение по объему**. Водопоглощение по массе ($W_m, \%$) равно отношению массы воды, поглощенной образцом при контакте его с водой, к массе сухого образца ($m_{\text{сух}}$):

$$W_m = \frac{(m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}})}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \%,$$

где $m_{\text{вл}}$ – масса насыщенного водой образца, г.

Водопоглощение по объему ($W_v, \%$) равно отношению массы воды, поглощенной образцом при контакте его с водой, к объему образца (V):

$$W_v = \frac{(m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}})}{V} \cdot 100 \% .$$

По количеству воды, поглощаемой материалом, можно приблизительно оценить открытую пористость ($W_v \approx P_0$).

Соотношение между водопоглощением по массе и объему равно средней плотности материала в сухом состоянии:

$$\frac{W_V}{W_m} = \frac{(m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}})}{V} \bigg/ \frac{(m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}})}{m_{\text{сух}}} = \frac{m_{\text{сух}}}{V} = \rho_m.$$

Для определения водопоглощения образцы высушивают до постоянной массы, взвешивают и погружают в воду. В зависимости от вида материала насыщение водой проводят в различных условиях и в различные сроки выдержки. В частности, после насыщения водой измерение массы бетонных образцов производят через каждые 24 часа, до тех пор пока результаты двух последовательных измерений будут отличаться не более чем на 0,1 % (ГОСТ 12730. 3–78). Это свидетельствует об окончании водопоглощения. Водопоглощение стеновых материалов определяют по ГОСТ 7025–91 путем насыщения образцов материалов в воде при температуре 15...20 °С в течение 48 часов или в кипящей воде в течение 4 часов.

Результаты испытаний водопоглощения по массе (W_m), водопоглощения по объему (W_V) представляются в виде таблицы (см. форму табл. 1.4).

Форма таблицы 1.4

Результаты оценки свойств материала по отношению их к воде

| Наименование материала | Масса образца, г | | Объем образца, см ³ | Водопоглощение, % | |
|------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-----------|
| | сухого | насыщенного водой | | по массе | по объему |
| | | | | | |

Определение водостойкости. Водостойкость материалов оценивают по коэффициенту размягчения (K_p), который определяют как отношение предела прочности при сжатии образцов, испытанных в насыщенном водой состоянии ($R_{\text{сж}}^{\text{вл}}$), к пределу прочности образцов в сухом состоянии ($R_{\text{сж}}^{\text{сух}}$):

$$K_p = \frac{R_{\text{сж}}^{\text{вл}}}{R_{\text{сж}}^{\text{сух}}}$$

Предел прочности при сжатии определяют по методике, представленной в разделе 1.7.1.

Строительные материалы относятся к водостойким, если коэффициент размягчения $K_p \geq 0,8$.

1.7. Методы определения механических свойств

Прочностью называют свойство материала сопротивляться разрушению под давлением внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок.

Прочность строительных материалов характеризуется пределом прочности, т. е. напряжением в материале, соответствующим нагрузке, при которой происходит его разрушение.

1.7.1. Определение предела прочности при сжатии и растяжении

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) и растяжении ($R_{раст}$) определяются по формуле:

$$R_{сж(раст)} = \frac{P}{S},$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс); S – площадь поперечного сечения образца, мм^2 (см^2); $R_{сж(раст)}$ – предел прочности при сжатии или при растяжении, МПа (кгс/ см^2).

Для определения предела прочности при сжатии образцы материала подвергают действию сжимающих внешних сил и доводят до разрушения. Испытание проводят на гидравлическом прессе. Перед испытанием образец обмеряют с точностью до 1 мм. В ходе испытания необходимо зафиксировать момент разрушения образца. При этом стрелка манометра пресса укажет на значение разрушающей нагрузки (P , кгс).

Каждый материал испытывают не менее чем на трех образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов.

Испытуемые образцы должны быть правильной геометрической формы (куб, цилиндр, параллелепипед).

1.7.2. Определение сопротивления удару

Сопротивление удару характеризует способность материала противостоять ударным воздействиям. На сопротивление удару испытывают те каменные материалы, которые в процессе эксплуатации подвергаются динамическим нагрузкам (материалы для полов и дорожных покрытий).

Испытание на удар обычно проводят на копрах. Груз, падающий с различных высот, ударяет по образцу. Суммарная работа нескольких сбрасываний, затраченная на разрушение образца и отнесенная к объему материала, характеризует ударную прочность A [$\text{кгс}\cdot\text{см}/\text{см}^3$ ($\text{Дж}/\text{см}^3$)]. Этот показатель определяют по формуле

$$A = \frac{P(1 + 2 + 3 + \dots + n)}{V},$$

где P – масса груза, кг; n – порядковый номер удара, разрушившего образец; V – объем образца, см^3 .

1.7.3. Определение коэффициента конструктивного качества

Для оценки технической эффективности строительных материалов применяют показатель коэффициента конструктивного качества ($K.K.K.$), определяемый отношением предела прочности при сжатии ($R_{сж}$, МПа) к величине средней плотности (ρ_m , $\text{кг}/\text{м}^3$):

$$K.K.K. = \frac{R}{\rho_m}.$$

Лучшие конструкционные материалы имеют высокую прочность при низкой средней плотности. В частности, применение легких и прочных материалов с относительно высоким $K.K.K.$ облегчает устройство фундаментов и оснований зданий. Кроме того, $K.K.K.$ косвенно характеризует материалоемкость строительной продукции.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОМОНОЛИЧИВАНИЯ

2.1. Керамические стеновые и теплоизоляционные изделия

Керамическими называют искусственные каменные материалы, изготовленные на основе минерального природного или техногенного сырья путем формования и последующего спекания при обжиге.

Для производства стеновых материалов основным сырьем служат глинистые породы ($Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$). Они выполняют две функции:

- придают массам способность принимать определенную форму, сохранять ее и упрочняться при сушке;
- обеспечивают при обжиге (950 – 1050 °С) за счет спекания превращение начального конгломерата слабосвязанных частиц, объединенных силами трения и адгезии, в искусственный прочный и водостойкий материал.

Физико-химические процессы, протекающие при спекании, включают:

а) взаимодействие между отдельными компонентами смеси или продуктами их распада в твердом состоянии (твердофазовое спекание);

б) стяжение и склеивание твердых частиц силикатным расплавом, образующимся из легкоплавких соединений смеси (жидкостное спекание);

в) кристаллизацию минералов керамического черепка (муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и др.).

Механическая прочность *стеновой керамики* является ее ключевым свойством и зависит от всего технологического процесса производства: рецептуры шихт, свойств сырья, методов переработки и формования, режима обжига (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Схема изготовления керамических изделий

Марку камня по прочности устанавливают по значению предела прочности при сжатии, а кирпича – по значению пределов прочности при сжатии и изгибе (прил. 2). Для зернистых керамических материалов (керамзит и его разновидности) в БрГУ разработан методика оперативной оценки прочности путем сжатия отдельных гранул в среде песка (прил. 20).

Согласно ГОСТ 530–95 «Кирпич и камни керамические. Технические условия» изделия с вертикально расположенными пустотами в зависимости от прочности подразделяются на марки: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, а с горизонтально расположенными пустотами – 25, 35, 50, 100.

На предприятиях приемосдаточные испытания партий изделий стеновой керамики осуществляют по следующим показателям:

- внешний вид (наличие дефектов внешнего вида);
- размеры и правильность формы;
- масса изделия;
- предел прочности при сжатии изделий;
- предел прочности при изгибе для кирпичей марок 75 и 100.

Периодические испытания включают определение:

а) наличия известковых включений; б) водопоглощения; в) предела прочности при изгибе кирпичей марки 125 и выше; г) морозостойкости; д) удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

Теплопроводность изделий определяют при постановке продукции на производство, а также каждый раз при изменении сырьевых материалов, размера и количества пустот.

Масса кирпича в высушенном состоянии не должна быть более 4,3 кг, камней – более 16 кг. По морозостойкости изделия подразделяют на марки: F15, F25, F35, F50. Водопоглощение для полнотелого кирпича должно быть не менее 8 %, для пустотелых изделий – не менее 6 %.

Условное обозначение керамического изделия состоит из названия, вида, марки по прочности и морозостойкости, обозначения стандарта. Например, кирпич керамический пустотелый одинарный марки по прочности 150, по морозостойкости F15:

Кирпич КП-0 150/15/ГОСТ 530–95;

камень керамический марки по прочности 100, по морозостойкости F15:

Камень К 100/15/ГОСТ 530–95.

Способы производства и свойства *керамических теплоизоляционных изделий* имеют много общего со свойствами строительной керамики и способами ее изготовления. Основное различие – высокая пористость керамических теплоизоляционных изделий, что обуславливает небольшую среднюю плотность, малую прочность и низкую теплопроводность.

Основным сырьем в производстве теплоизоляционной керамики служат диатомиты и трепелы, представляющие собой микропористые кремнистые породы осадочного происхождения. Кроме природного гидрата кремнезема ($m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), они содержат в небольших количествах глиноземистые вещества, карбонаты и сульфаты натрия, кальция, магния и примеси органических веществ. Высокая пористость изделий достигается методом пенообразования или применением выгорающих добавок.

Согласно ГОСТ 2694–78 «Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные» в зависимости от основного показателя качества – средней плотности – диатомитовые изделия подразделяются на марки Д500 и Д600, а пенодиатомитовые – на марки ПД – 350, ПД – 400.

Показатели физико-механических свойств керамических теплоизоляционных изделий из диатомитов и трепелов, получаемых с применением пены (ПД) или выгорающих добавок (Д), приведены в табл. 2.1.

**Показатели физико-механических свойств
диатомитовых теплоизоляционных изделий**

| Показатели | Д-500 | Д-600 | ПД-350 | ПД-400 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Средняя плотность, кг/м ³ , не более | 500 | 600 | 350 | 400 |
| Теплопроводность Вт/(м·К), при температуре: 298±5 °С 573±5 °С | 0,104 0,156 | 0,116 0,168 | 0,083 0,122 | 0,095 0,134 |
| Предел прочности при сжатии, МПа, не менее | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,8 |
| Линейная температурная усадка при 900 °С, %, не более | 2 | 2 | 2 | 2 |

Диатомитовые изделия, применяемые для теплоизоляции сооружений, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 900 °С, выпускают в виде кирпича, полуцилиндров и сегментов, а пенодиатомитовые изделия – только в виде кирпича.

2.1.1. Прочность при сжатии

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах, представляющих собой два целых изделия или две половинки его, а предел прочности при сжатии камней определяют на целом камне. Допускается определять предел прочности на сжатие на половинках кирпича, полученных после испытания на изгиб.

Кирпичи или их половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны.

Образцы из керамического кирпича и камня *пластического формования* испытывают, соединением частей образца и выравниванием их опорных поверхностей слоем цементного раствора толщиной не более 5 мм.

Образцы керамического кирпича *полусухого прессования* испытывают насухо, не производя выравнивания их поверхностей.

Для определения предела прочности при сжатии изделий пластического формования допускается опорные поверхности образцов выравнивать шлифованием, гипсовым раствором или применяя прокладки.

На боковые поверхности образца наносят вертикальные осевые линии. Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса.

Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20...60 секунд после начала испытаний.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, образца вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \cdot 10^{-1}, \quad (2.1)$$

где P – разрушающая нагрузка, кгс;

F – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднеарифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, $см^2$.

Для вычисления предела прочности при сжатии образцов из двух целых кирпичей толщиной 88 мм или из двух их половинок результаты испытаний умножают на коэффициент 1,2.

Предел прочности при сжатии образцов в партии вычисляют с точностью до 0,1 МПа ($1 \text{ кгс}/см^2$) как среднее арифметическое значение результатов испытаний десяти образцов (или 10 парных половинок).

Форма таблицы 2.2

Прочность при сжатии

| Номер образца | Размеры образца в сечении, перпендикулярном направлению сжатия, см | | Площадь поперечного сечения $F = a \cdot b$, $см^2$ | Разрушающая нагрузка P , кгс | Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа | Среднее значение прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа |
|---------------|--|-----|--|--------------------------------|-------------------------------------|--|
| | a | b | | | | |
| | | | | | | |

Согласно ГОСТ 2694–78 предел прочности при сжатии и среднюю плотность теплоизоляционных диатомитовых изделий

определяют на трех изделиях. Результаты определений записывают в виде таблицы (формы табл. 2.2 и 2.3).

Форма таблицы 2.3

Средняя плотность керамических изделий

| Номер образца | Масса образца, г | Размеры образца, см | | | Объем образца, см ³ | Средняя плотность, ρ_m , г/см ³ | Среднее значение ρ_m , г/см ³ |
|---------------|------------------|---------------------|------------|------------|--------------------------------|---|---|
| | | Длина l | Высота h | Ширина b | | | |
| | | | | | | | |

По полученным значениям средней плотности можно провести сравнительный анализ расчетных значений теплопроводности керамических стеновых и теплоизоляционных изделий, используя формулу (1.2).

2.1.2. Прочность при изгибе

Предел прочности при изгибе керамического кирпича определяют на целых кирпичках, которые испытывают по схеме балки, свободно лежащей на двух опорах с расстоянием между ними 20 см. Испытания проводят сосредоточенной нагрузкой, приложенной посередине пролета. В местах опирания и приложения нагрузки поверхность кирпича пластического формования выравнивают цементным или гипсовым раствором, шлифованием или применяя прокладки. Кирпич с несквозными пустотами устанавливают на опорах так, чтобы пустоты располагались в растянутой зоне образца.

Керамический кирпич полусухого прессования испытывают на изгиб без применения растворов и прокладок. Нагрузка должна передаваться посередине плавно через каток, со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20–30 секунд после начала испытаний.

Образцы измеряют с погрешностью до 1 мм. Каждый линейный размер вычисляют как среднее арифметическое значений результатов измерений двух средних линий противоположных поверхностей образца.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, образца рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3Pl}{2bh^2} \cdot 10^{-1},$$

где P – разрушающая нагрузка, кгс; l – расстояние между осями опор, см; b – ширина образца, см; h – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, см.

Предел прочности при изгибе кирпичей в партии вычисляют с точностью до 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

Результаты испытания записывают в таблицу (форма табл. 2.4).

Таблица 2.4

Прочность при изгибе

| № образца | Расстояние между опорами, см | Размеры сечения образца, см | | Разрушающая нагрузка P , кгс | Предел прочности при изгибе $R_{\text{изг}}$, МПа | Среднее значение предела прочности при изгибе $R_{\text{изг}}$, МПа |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|-----|--------------------------------|--|--|
| | | b | h | | | |
| | | | | | | |

Вычисляя предел прочности при изгибе, не учитывают образцы (не более одного в каждую сторону), пределы прочности которых имеют отклонение от среднего значения $R_{\text{изг}}$ всех образцов более чем на 50 %.

2.1.3. Определение прочности отдельных гранул керамзита

Одним из основных показателей качества искусственного заполнителя (керамзитового гравия, стеклопор и др.) является его прочность. Поэтому при оптимизации состава шихты и параметров технологической обработки сырьевых гранул ещё на стадии лабораторных исследований важно иметь надежную информацию о влиянии тех или иных факторов на прочность заполнителя. Для определения прочности керамзита при сдавливании в цилиндре по ГОСТ 9758–86 требуется 2 литра гранул.

С целью оперативной оценки прочностных характеристик зерен заполнителя используют методы определения прочности отдельных гранул.

Применявший ранее способ определения прочности отдельных гранул (раскалывание) не гарантирует получения достоверных результатов в связи с несоответствием схемы приложения нагрузки при испытании характеру работы заполнителя в бетоне. Метод объемного сжатия в среде гидропластмассы, разработанный в НИИКерамзит, позволяет получить сопоставимые результаты, но при этом требует специального аппаратного оформления, дефицитных материалов и дополнительных операций при испытании мелких гранул.

В БрГУ разработан универсальный способ определения прочностных характеристик отдельных гранул керамзита любых фракций.

По предлагаемому способу прочность пористого заполнителя определяют сдавливанием гранулы в стальном составном цилиндре в среде мелкого песка. Для этого цилиндр со съёмным дном и внутренним диаметром 75 мм заполняют до половины кварцевым песком фракции 0,315... 0,63 мм. (Возможно использование стандартного прибора для определения дробимости щебня (гравия).) На слой песка укладывают гранулу керамзита и заполняют цилиндр песком доверху, вставляют в него плунжер и устанавливают его на нижнюю плиту гидравлического пресса. При испытании нагрузку увеличивают непрерывно и равномерно со скоростью 4...6 мм/мин до разрушения гранулы. При ее разрушении раздается треск (щелчок) и стрелка манометра отклоняется в обратную сторону.

Прочность при объемном сжатии гранулы керамзита $R_{сж}$ (МПа) вычисляют по формуле

$$R_c = \frac{F}{S} \cdot 0,1 ,$$

где F – разрушающая нагрузка, кгс; S – площадь поверхности гранулы, через которую передается нагрузка, см².

Рабочую площадь гранулы керамзита рассчитывают как площадь полусферы по формуле

$$S = \frac{\pi d^2}{2},$$

где d – диаметр гранулы керамзита, см.

Прочность заполнителя рекомендуется вычислять как среднее арифметическое значение результатов шести параллельных определений для гранул одного состава.

Для обеспечения шарообразной формы обожженных зерен заполнителя не рекомендуется формовать сырцовые гранулы традиционным методом в виде цилиндров с помощью металлической формы. Следует вручную накатывать шарики массой 5 г, которые затем обжигать по принятой технологии.

Оценка прочности отдельных гранул керамзита, полученных в лабораторных условиях методом объемного сжатия образцов в среде песка, проста и может быть использована как для разработки рекомендаций по корректированию прочностных характеристик заполнителя, так и для оперативного контроля качества глинистого сырья различных слоев месторождения в условиях заводской лаборатории.

Предлагаемый способ опробован в БрГУ для предварительной оценки прочностных характеристик керамзита из сырья нескольких месторождений, а также стеклопора на основе жидкого стекла из микрокремнезёма. В условиях Тайшетского комбината стройиндустрии при помощи предлагаемого метода разработан и внедрен состав керамзитовой шихты с корректирующей добавкой на основе отходов местной промышленности, позволяющий повысить прочность керамзита на 40...50 % и получить заполнитель марки 350...400, полностью соответствующий требованиям ГОСТ 9757–90 по прочности.

2.2. Строительный гипс

Гипс – быстротвердеющее и быстросхватывающееся воздушное вяжущее. Гипсовые вяжущие вещества подразделяются на строительный и высокопрочный гипс и ангидритовое вяжущее. Их изготавливают из природного гипсового камня, представляющего собой в основном двухводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрита CaSO_4 и некоторых отходов химической промышленности, содержащих преимущественно двухводный и безводный сульфаты кальция. В природном гипсе обычно присутствуют примеси глины, песка, известняка и некоторых других веществ. Повышенное количество примесей снижает качество строительного гипса. Особенно недопустимо содержание примесей в сырье для производства формовочного, технического и медицинского гипса.

Строительный гипс получают термической обработкой и помолотом природного гипса по реакции



Эта реакция протекает сравнительно быстро при температуре 140...190 °С.

Марки гипсовых вяжущих (ГВ) различают в зависимости от предела прочности на сжатие ($R_{\text{сж}}$) половинок стандартных балочек размером 40×40×160 мм в возрасте 2 часа после их испытания на изгиб ($R_{\text{изг}}$) (табл. 2.5). Прочность гипсовой отливки в воздушно-сухом состоянии увеличивается примерно вдвое.

Таблица 2.5

Марка гипсовых вяжущих в зависимости от $R_{\text{изг}}$ и $R_{\text{сж}}$

| Марка | $R_{\text{изг}}$ | $R_{\text{сж}}$ | Марка | $R_{\text{изг}}$ | $R_{\text{сж}}$ |
|-------|------------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|
| Г-2 | 1,2 | 2 | Г-10 | 4,5 | 10 |
| Г-3 | 1,8 | 3 | Г-13 | 5,5 | 13 |
| Г-4 | 2 | 4 | Г-16 | 6 | 16 |
| Г-5 | 2,5 | 5 | Г-19 | 6,5 | 19 |
| Г-6 | 3 | 6 | Г-11 | 7 | 22 |
| Г-7 | 3,5 | 7 | Г-25 | 8 | 25 |

Гипсовые вяжущие в зависимости от сроков схватывания различаются по индексам (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Характеристика гипсовых вяжущих по срокам схватывания

| Вид ГВ | Индекс | Сроки схватывания, мин |
|---------------------|--------|------------------------|
| Быстротвердеющие | А | 2...15 |
| Нормальнотвердеющие | Б | 6...30 |
| Медленнотвердеющие | В | Не менее 30 |

В зависимости от степени помола различают ГВ грубого помола при максимальном остатке на сите с сеткой № 02 – 23 %, среднего помола – до 14 % и тонкого помола – до 2 %. Изготовитель должен определять удельную поверхность ГВ тонкого помола не менее одного раза в месяц и сообщать её потребителю.

Гипсовые вяжущие, применяемые для изготовления строительных изделий и производства строительных работ, должны быть марки не ниже Г-5 и при просеивании через сито с сеткой № 02 иметь остаток не более 12 %. Для изготовления гипсовых строительных изделий рекомендуются ГВ марок Г-5...Г-7 всех сроков схватывания и степени помола; для тонкостенных изделий и декоративных деталей – тех же марок, кроме медленнотвердеющих ГВ грубого помола; для производства штукатурных работ, заделки швов и специальных целей – Г-2...Г-25 нормального и медленного твердения, среднего и тонкого помола.

Строительный гипс получают нагреванием природного гипса при нормальном давлении. В этих условиях образуется β модификация полуводного гипса ($\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), обладающая повышенной водопотребностью при затворении воды (60...80 %). По этой причине затвердевший гипсовый камень имеет высокую пористость и низкую прочность. При нагревании же двуводного гипса под давлением получают полуводный гипс в виде α модификации ($\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), образующийся в форме коротких плотных кристаллов с несколько большей плотностью и имеющий значительно меньшую водопотребность при затворении (40...45 % воды). Это позволяет получить затвердевший гипсовый камень с большой плотностью и прочностью.

Гипс, как воздушное вяжущее, характеризуется низкой водостойкостью. Коэффициент размягчения гипса не превышает 0,5.

2.2.1. Определение нормальной густоты гипсового теста

Густота гипсового теста характеризуется диаметром его расплава. Диаметр 180 ± 5 мм соответствует стандартной нормальной густоте.

Для определения густоты гипсового теста применяют прибор, состоящий из квадратного листового стекла со стороной 240 мм и цилиндра из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью высотой $100 \pm 0,1$ мм и диаметром 50 мм (рис. 2.2).

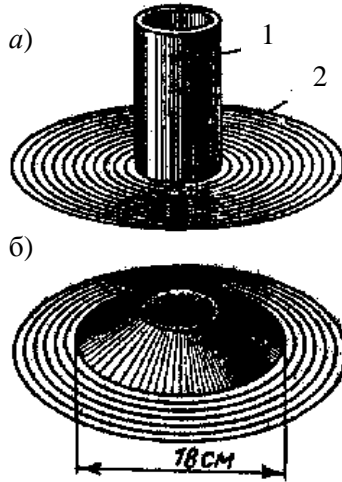


Рис. 2.2. Определение нормальной густоты гипсового теста:
а – прибор в собранном виде; *б* – расплыв из гипсового теста; *1* – латунный цилиндр; *2* – стеклянная пластинка с концентрическими окружностями.

Под стекло помещают бумагу или металлический диск, на которые наносят ряд концентрических окружностей диаметром 150...200 мм через каждые 10 мм и диаметром 170...190 мм – через 5 мм. Перед испытанием с внутренней поверхности цилиндра и с пластинки удаляют гипс, оставшийся от предыдущего испытания. Затем цилиндр и стеклянную пластинку протирают. Стеклянная пластинка должна лежать строго горизонтально, цилиндр ставят в центре концентрических окружностей. Испытание производят в следующем порядке.

В чистую и сухую чашку наливают определенное количество воды, которое рассчитывают, исходя из заданного водогипсового отношения (В/Г) и количества гипса 300 г.

Навеску вяжущего 300 г маленькими порциями всыпают в воду в течение 2...5 с.

Смесь размешивают ручной мешалкой в продолжение 30 с (отсчет времени ведут от начала всыпания вяжущего в воду).

Перемешанное гипсовое тесто перекадывают в цилиндр, поставленный на стекло, и ножом сравнивают поверхность гипсового теста с краями цилиндра. Эта операция производится в течение

15 с, после чего цилиндр быстро поднимают на высоту 15...20 см и отводят в сторону.

Тесто расплывается в конусообразную лепёшку, величина которой зависит от консистенции теста. Диаметр расплыва измеряют линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. В процессе работы необходимо получить гипсовое тесто стандартной нормальной густоты с расплывом 180 ± 5 мм.

2.2.2. Определение сроков схватывания гипсового теста

Для определения сроков схватывания гипсового теста используют прибор Вика (рис. 2.3).

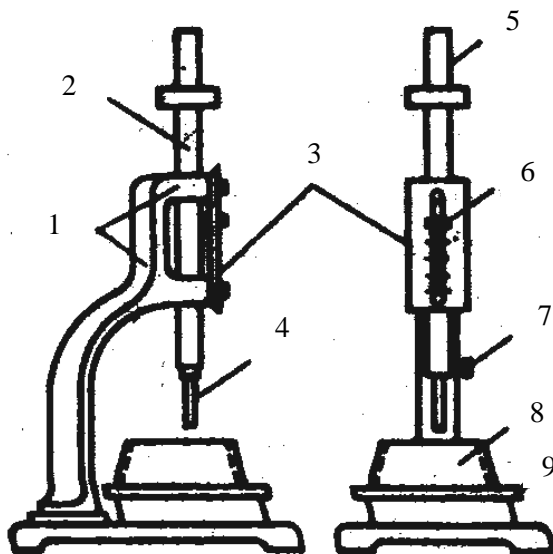


Рис. 2.3. Прибор Вика:

1 – станина; 2 – стержень; 3 – шкала; 4 – игла; 5 – пестик; 6 – указатель; 7 – винт; 8 – кольцо; 9 – стеклянная пластина

Основа прибора – подвижный металлический стержень 2 с указателем 6. Стержень может быть закреплен на определенной высоте стопорным винтом 7, при освобождении которого стержень падает вниз. Шкала 3 с делениями от 0 до 40 мм укреплена на ста-

нине 1. В верхнюю часть стержня вставляют изготовленный из нержавеющей стали пестик 5 с полированной поверхностью. При этом иглу 4 закрепляют в нижней части стержня прибора. Масса стержня с пестиком и иглой (300 ± 2) г. Снизу на станину устанавливают стеклянную (или из другого коррозионно-стойкого материала) пластину 9 размером 100×100 мм и коническую форму-кольцо 8.

Начало схватывания характеризуется промежутком времени, прошедшим от начала затворения гипсового вяжущего водой до того момента, когда игла прибора Вика первый раз не доходит до дна.

Концом схватывания называется промежуток времени от начала затворения до момента, когда свободно опущенная игла прибора погружается в гипсовое тесто на глубину не более 1 мм. Время начала и конца схватывания выражается числом минут.

Перед испытанием необходимо проверить свободное опускание стержня и нулевое показание прибора. Порядок выполнения следующий.

Каждая бригада готовит гипсовое тесто, исходя из заданного значения В/Г и количества гипса – 200 г. Воду наливают в металлическую или фарфоровую чашку, засыпают вяжущее в течение 2...5 с и перемешивают в течение 30 с.

Гипсовое тесто выливают в кольцо прибора, смазанное машинным маслом; избыток срезают ножом. Предварительным встряхиванием (5...6 раз) из теста удаляют воздух.

Кольцо с пластинкой помещают под иглу прибора, иглу приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют винтом.

Погружение иглы в тесто производят через каждые 30 с и всякий раз в новом месте. После каждого погружения иглу тщательно вытирают. В процессе опыта необходимо отметить два положения: первое, когда игла не касается дна, – начало схватывания; второе, когда игла погружается в тесто не более чем на 1 мм, – конец схватывания.

Результаты опыта записывают в следующей форме:

- количество гипса в г;
- количество воды в %;
- начало схватывания;
- конец схватывания.

2.2.3. Определение прочностных характеристик и оценка водостойкости

Преподаватель задаёт каждой бригаде В/Г, одно из которых является оптимальным, а два других отличаются от него на $\pm 0,1$.

Для определения предела прочности каждая бригада изготавливает, исходя из заданного значения В/Г, образцы – балочки (в количестве трёх) размером $40 \times 40 \times 160$ мм. Ниже приведена последовательность проведения опыта.

Навеску вяжущего 1,2 кг всыпают в течение 5...20 секунд в чашку с водой, взятой в соответствии с заданным значением В/Г, после чего смесь интенсивно перемешивают в течение 60 секунд до однородной массы.

Гипсовое тесто после перемешивания выливают в металлические формы, предварительно слегка смазанные машинным маслом. Для удаления вовлечённого воздуха форму встряхивают пять раз о стол, поверхность образцов при этом заглаживается.

Через 15 ± 5 минут после конца схватывания образцы извлекают из формы. Испытания по ГОСТ 125–79 производят через два часа после изготовления. В настоящей работе допускается сокращение выдержки образцов перед испытанием до 1–1,5 часов. Испытания на изгиб производят на приборе МИИ-100. Для этого образец-балочку устанавливают на опоры изгибающего устройства таким образом, чтобы грани его, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении. Показание предела прочности ($R_{изг}$) снимают со счётчика прибора.

Вычисляют предел прочности при изгибе как среднее арифметическое значение трёх результатов испытания.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек испытывают на сжатие. Для этого каждую половинку помещают между двумя металлическими пластинами (размер $4 \times 6,25$ см). Испытание на сжатие производят со скоростью нарастания нагрузки $10 \pm 0,5$ МПа в секунду.

Вычисляют предел прочности при сжатии каждого образца делением величины разрушающей нагрузки (P , кгс) на рабочую площадь пластинки (25 см^2).

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) образцов, изготовленных из испытуемого гипсового теста, представляет собой среднее

арифметическое значение результатов испытаний шести образцов (форма табл. 2.7).

Форма таблицы 2.7

Результаты испытания гипсового вяжущего

| Значение В/Г, % | Расплав лепешки, см | Сроки схватывания, мин | | Предел прочности (МПа) через 1,5 часа | |
|-----------------|---------------------|------------------------|-------|---------------------------------------|------------|
| | | Начало | Конец | при изгибе | при сжатии |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Водостойкость образцов оценивают по методике, представленной в п. 1.6.4.

2.3. Портландцемент

К цементам относят портландцемент и его разновидности, пуццолановые и шлаковые цементы, алюминатный цемент и цементы на его основе и др. В строительной практике наиболее широко применяют портландцемент.

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (85...90 %). Получают его путем тонкого совместного измельчения клинкера с добавкой небольшого количества природного гипсового камня (1,5...3,5 % в пересчете на SO_3).

Клинкер представляет собой зернистый материал, получаемый путем обжига до спекания при температуре 1450 °С сырьевой смеси, состоящей из карбонатного сырья (известняк) и алюмосиликатов (глина) в примерном весовом отношении 3:1. При помолу к клинкеру может быть добавлена гидравлическая добавка до 15 %.

Различают следующие виды портландцемента: пластифицированный, гидрофобный, быстротвердеющий, особо быстротвердеющий, сульфатостойкий, белый, цветной, тампонажный, дорожный и портландцемент для асбоцементных изделий.

Пуццолановым портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного помола клинкера, гипса и 20...40 % активных минеральных добавок или

путем отдельного помола указанных компонентов с последующим тщательным их перемешиванием.

Шлаковым портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое в результате совместного помола клинкера, гипса и 30...80 % гранулированного доменного шлака или отдельного помола этих составляющих с последующим тщательным их перемешиванием.

2.3.1. Определение нормальной плотности цементного теста

Нормальной называют плотность цементного теста, обеспечивающую его удобоукладываемость. Нормальная плотность характеризует водопотребность цемента. Чем меньше водопотребность цемента для получения теста нормальной плотности, тем выше прочность цементного камня, так как большое количество воды в составе цементного теста, испаряясь при твердении, оставляет много пор и капилляров, что снижает прочность затвердевшей системы. В связи с этим при производстве цемента, а также при его использовании необходимо применять меры, обеспечивающие снижение его водопотребности.

Для определения нормальной плотности цементного теста используют прибор Вика (рис. 2.3), к стержню которого прикрепляют пестик. Масса стержня с пестиком должна составлять 300 г.

Принцип работы прибора заключается в следующем. Берут 400 г цемента и засыпают в чашу со сферическим дном, предварительно протертым влажной тряпкой. С помощью мастерка делают углубление в цементе и заливают туда воду в количестве 25 % от массы пробы. Углубление заполняют цементом и через 30 секунд после этого массу перемешивают мастерком во взаимно перпендикулярных направлениях сначала медленно, а затем интенсивно. Время перемешивания составляет 5 мин, считая с момента затворения цемента водой.

Приготовленное тесто в один прием закладывают в кольцо прибора Вика и уплотняют путем постукивания (5...6 раз) о стол. Затем поверхность теста заглаживают ножом, смоченным водой, кольцо устанавливают под стержнем прибора, пестик доводят до касания с поверхностью теста и закрепляют винтом. После этого быстро освобождают винт и свободно опускают пестик в тесто. Через 30 с фиксируют глубину погружения пестика в тесто

по шкале прибора. Если расстояние между концом пестика и стеклянной пластинкой под кольцом составляет 5...7 мм, то приготовленное тесто обладает нормальной густотой. Содержание воды в тесте в процентах от массы цемента обозначает нормальную густоту цементного теста (иногда нормальную густоту выражают в долях единицы), вычисленную по следующей формуле с точностью до 0,25 %:

$$\text{НГ} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{ц}}} \cdot 100 \%,$$

где НГ – нормальная густота цементного теста, %; $m_{\text{в}}$ – масса воды, содержащейся в тесте, г; $m_{\text{ц}}$ – масса цемента, г.

При погружении пестика в тесто на глубину менее или более указанных выше величин количество воды увеличивают или уменьшают и опыт повторяют. Результаты опыта заносят в таблицу (форма табл. 2.8).

Форма таблицы 2.8

Результаты определения, нормальной густоты цементного теста

| Наименование материала | № опытов | Масса пробы цемента $m_{\text{ц}}$, г | Масса воды $m_{\text{в}}$, г | Расстояние между концом пестика и стеклянной пластинкой, мм | Нормальная густота цементного теста, % |
|------------------------|----------|--|-------------------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | | | | |

Нормальная густота теста портландцемента, шлакового портландцемента, алюминатного цемента находится обычно в пределах 22...28 %, пуццоланового портландцемента – 32...36, романцемента – 30...50, известково-шлакового цемента – 28...40, известково-пуццоланового цемента – 30...60 %.

2.3.2. Определение равномерности изменения объема цемента при твердении

Неравномерность изменения объема цементного камня может быть обусловлена несколькими причинами:

во-первых, избыточным содержанием в цементе свободной извести. Свободная СаО из-за постепенного гашения и увеличения собственного объема создает внутреннее напряжение в теле уже структурированного камня – в результате образуются трещины;

во-вторых, повышенным содержанием в цементе MgO, механизм влияния которого аналогичен описанному выше механизму гашения СаО;

в-третьих, избыточным содержанием гипса в цементе.

Равномерность изменения объема цементного теста при твердении определяют путем кипячения образцов в воде (при содержании MgO в клинкере не более 5 %) или испытания в автоклаве под давлением 20 атм.

Метод кипячения образцов в воде заключается в следующем.

Из теста нормальной густоты отвешивают четыре образца по 75 г каждый, придают им форму шарика и укладывают на стеклянные пластинки, смазанные тонким слоем машинного масла. Пластинку несколько раз слегка обстукивают об стол, в результате чего образцы принимают форму лепешки. Диаметр лепешек должен быть 7...8 см, а толщина в центре около 1 см. Поверхность лепешек заглаживают смоченным ножом от краев к центру, после чего устанавливают ванну с гидравлическим затвором.

Ванна с гидравлическим затвором обеспечивает хранение образцов в замкнутом пространстве. Для этого в ванну заливают воду до уровня чуть ниже решетки. Температура в ванне должна быть стабильной, а относительная влажность воздуха в ней – 90...95 %. Образцы выдерживают в ванне при температуре 20 ± 2 °С в течение 24 ± 2 ч.

Затем образцы снимают с пластинок и укладывают в бак из оцинкованного листового железа на решетку, установленную на высоте 2 см от дна. Бак заполняют водой и кипятят 4 ч. Уровень воды в баке должен быть выше на 4...6 см уровня образцов.

Затем образцы охлаждают в баке до комнатной температуры, извлекают из воды и сразу осматривают. Если при этом на образцах не обнаруживают радиальных трещин, доходящих до краев лепешек, сетки мелких трещин, наблюдаемых невооруженным глазом или под лупой, искривлений, а также разрушений, то считается, что испытуемый цемент изменяет свой объем при твердении равномерно. Искривления определяют путем наложения линейки на плоскую поверхность образца. Наличие хотя бы одного из пере-

численных признаков на поверхности образца свидетельствует о неравномерности изменения объема при твердении цемента, и он считается непригодным для использования.

Цемент считается пригодным для использования в том случае, если на обратной поверхности образцов не обнаружены радиальные трещины, доходящие до краев, и при условии появления звонкого звука при соударении образцов.

На рис. 2.4 и 2.5 приведен внешний вид образцов-лепешек из цементного теста, выдержавших и не выдержавших испытания на равномерность изменения объема при твердении.

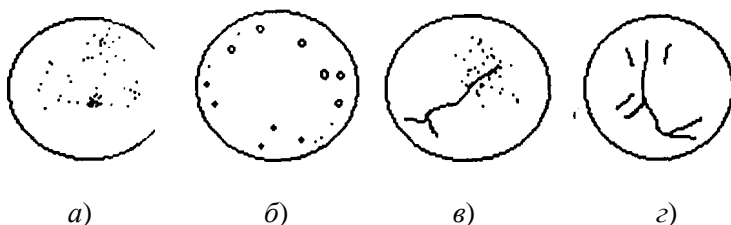


Рис. 2.4. Внешний вид образцов-лепешек, выдержавших испытания на равномерность изменения объема цементного теста:
а, б – поры; в, г – трещины усыхания

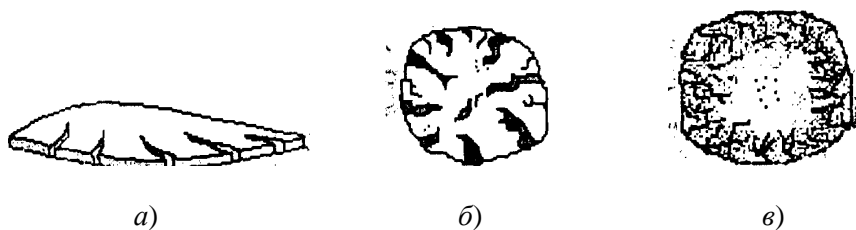


Рис. 2.5. Внешний вид образцов-лепешек, не выдержавших испытания на равномерность изменения объема цементного теста:
а – искривления; б – разрушения; в – радиальные трещины

2.3.3. Определение сроков схватывания цементного теста

Приготовленное цементное тесто через определенное время начинает загустевать и схватываться. Это время для разных цементов различно. Если цементное тесто схватывается слишком быстро, это затрудняет технологический процесс, т. к. недостаточность времени схватывания не позволяет выполнить технологические операции (например, укладку бетонной смеси в форму). При чрезмерном увеличении времени схватывания снижается производительность труда на производстве. Поэтому сроки схватывания цементного теста в зависимости от его вязкопластических свойств и прочности условно разделяют на два периода, регламентированных ГОСТом. Эти периоды называются началом и концом схватывания. Условно принимается, что твердение происходит после конца схватывания цементного теста.

Определение сроков схватывания производят с помощью прибора Вика (рис. 2.3). В этом случае пестик, применяемый для определения нормальной густоты цементного теста, заменяют на иглу длиной 50 мм и диаметром 1,1 мм. Масса перемещаемой части прибора должна быть 300 ± 2 г. На площадку верхней части стержня прибора устанавливают дополнительный груз. Температура при проведении опыта должна быть 20 ± 3 °С. Работу проводят следующим образом.

Берут 400 г цемента, готовят тесто нормальной густоты и в один прием накладывают его в кольцо прибора Вика. Стеклопластическую пластинку предварительно смазывают тонким слоем машинного масла.

Кольцо встряхивают 5...6 раз, поверхность теста заглаживают ножом и устанавливают под иглой прибора. Освобождением винта иглу доводят до поверхности теста и закрепляют в таком положении. Быстро освобождают винт и иглу опускают в тесто. В целях предотвращения ее искривления под воздействием ударов о стеклопластическую пластинку первое время при погружении ее слегка придерживают рукой. После загустевания теста иглу опускают в тесто свободно через каждые 5 мин. Перед погружением ее вытирают влажной тряпкой и путем поворота кольца прибора меняют место погружения.

В табл. 2.9 приведены требования ГОСТа к срокам схватывания различных цементов.

Требования ГОСТа на сроки схватывания цемента

| Наименование материала | Сроки схватывания | |
|--|-------------------|-----------------|
| | Начало, не ранее | Конец, не более |
| Портландцемент, шлаковый, пуццолановый | | |
| портландцемент и их разновидности | 45 мин | 10 ч |
| Белый портландцемент | 45 мин | 10 ч |
| Портландцемент для асбестовых изделий | 1 ч 30 мин | 12 ч |
| Тампонажный портландцемент: | | |
| для «холодных» скважин | 2ч | 10 ч |
| для «горячих» скважин | 1 ч 45 мин | 4 ч 30 мин |
| Алюминатный цемент | 30 мин | 12 ч |
| Кислотостойкий цемент: | | |
| для бетонов и растворов | 40 мин | 8 ч |
| для замазок | 20 мин | 8 ч |

Схватывание начинается тогда, когда расстояние от конца иглы, погруженной в тесто, до стеклянной пластинки составит 1...2 мм. Этот момент определяется путем свободного погружения иглы в тесто. Время от начала затворения цемента водой до этого момента считается *началом схватывания*.

После начала схватывания иглу погружают в тесто через каждые 15 мин. Схватывание считается законченным тогда, когда игла входит в тесто не более чем на 1 мм. Время от начала затворения цемента водой до этого момента, называется концом схватывания.

Результаты опытов заносят в таблицу (форма табл. 2.10).

Форма таблицы 2.10

Результаты определения сроков схватывания цементного теста

| Наименование материала | Время затворения цемента водой, ч, мин | Время наблюдения, мин | Глубина проникания иглы, мм | Сроки схватывания цементного теста, ч, мин | |
|------------------------|--|-----------------------|-----------------------------|--|-------|
| | | | | Начало | Конец |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

2.3.4. Определение марки цемента

Марка цемента – это предел прочности при сжатии (кгс/см^2) половинок образцов-балочек размерами $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементно-песчаного раствора пластичной консистенции ($V/C \geq 0,40$) состава 1:3, выдержанных в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях.

Марка цемента зависит от минерального состава клинкера, тонкости его помола и водопотребности.

Для проведения лабораторных испытаний берут 500 г цемента и 1500 г кварцевого песка. Материалы засыпают в чашу со сферическим дном и перемешивают лопаточкой в течение 1 мин. В центре приготовленной смеси лопаточкой делают лунку, кудавливают воду из расчета $V/C > 0,40$. После впитывания воды смесь перемешивают в течение 1 мин и определяют ее консистенцию на встряхивающем столике (рис. 2.6).

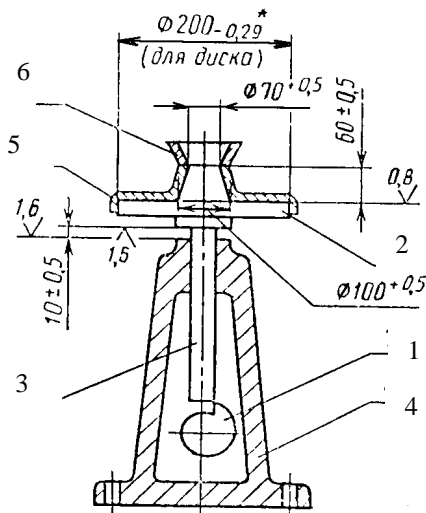


Рис. 2.6. Встряхивающий столик:

- 1 – кулачок; 2 – диск; 3 – шток; 4 – станина;
5 – форма-конус с центрирующим устройством; 6 – насадка

Конус встряхивающего столика до половины высоты заполняют раствором и уплотняют металлической штыковкой 15 раз. Далее добавляют раствор с некоторым избытком и штыкуют еще 10 раз. Затем снимают воронку с конуса, металлической линейкой

срезают излишек раствора и поверхность его разравнивают. Металлический конус вертикально снимают и растворный конус встряхивают на столике 30 раз в течение 30 с. Диаметр расплыва конуса по нижнему основанию измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение. Если это значение находится в пределах 106...115 мм, то приготовленный цементно-песчаный раствор имеет нормальную консистенцию. В противном случае опыт повторяют с уменьшенным или увеличенным количеством воды. Водоцементное отношение (В/Ц), соответствующее расплыву конуса 106...115 мм, принимают для проведения дальнейших опытов.

Из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции изготавливают три образца-балочки размерами 4×4×16 см. В форму укладывают раствор высотой примерно 1 см, включают виброплощадку и в течение 2 мин все три гнезда формы равномерно заполняют раствором. Через 3 мин от начала вибрирования отключают виброплощадку, насадку снимают, излишек раствора срезают ножом или металлической линейкой и заглаживают поверхность мастерком. Форму помещают в ванну с гидравлическим затвором, где хранят в течение 24 ч при температуре 20 ± 2 °С. Затем образцы распалубливают и укладывают в воду с температурой 20 ± 2 °С так, чтобы слой воды над ними был не менее 2 см. Воду в ванне заменяют через 14 сут и по достижении возраста 28 сут с момента изготовления образцы из воды вынимают и не позднее чем через 30 мин испытывают на изгиб. Перед испытанием образцы насухо вытирают. Для определения предела прочности на изгиб используют прибор МИИ-100. Образец устанавливают на опорах так, чтобы верхняя (при изготовлении) поверхность находилась при испытании в вертикальном положении. В момент разрушения образца счетчик прибора показывает значение предела прочности при изгибе ($R_{изг}$). Из трех результатов испытания вычисляют среднее арифметическое значение $R_{изг}$.

После испытания образцов-балочек на изгиб получается шесть половинок-балочек, которые подвергают испытанию на сжатие на гидравлическом прессе. В целях получения фиксированной площади поперечного сечения половинки образца помещают между двумя стандартными металлическими пластинками. При этом верхняя поверхность образца должна находиться в вертикальном положении.

Предел прочности при сжатии образцов вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{S_{пл}},$$

где $R_{сж}$ – активность цемента, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$); P – разрушающая сила, Н (кгс); $S_{пл}$ – площадь металлической пластины 2500 мм^2 (25 см^2).

Из шести показателей прочности вычисляют среднеарифметическое $R_{сж}$. По значениям $R_{изг}$ и $R_{сж}$ назначают марку цемента согласно ГОСТ 10178–85 (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Назначение марки портландцемента в зависимости от значений прочностных характеристик

| Показатели | Марка портландцемента | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-----|-----|------|-----|
| | 300 | 400 | 500 | 550 | 600 |
| Прочность при сжатии, МПа, не менее | 30 | 40 | 50 | 55 | 60 |
| Прочность при изгибе, МПа, не менее | 4,5 | 5,5 | 6,0 | 6,25 | 6,5 |

Результаты проведенных опытов представляют в виде таблицы (форма табл. 2.12).

Форма таблицы 2.12

Результаты определения марки цемента

| № п/п | Расход материалов | | | Водоцементное отношение (В/Ц) | Диаметр расплыва, мм | № образца | Прочность при изгибе ($R_{изг}$), МПа | Прочность при сжатии ($R_{сж}$), МПа | Среднее значение, МПа | | Марка цемента |
|-------|-------------------|-------|------|-------------------------------|----------------------|-----------|---|--|-----------------------|----------|---------------|
| | Цемент | Песок | Вода | | | | | | $R_{изг}$ | $R_{сж}$ | |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

Для ориентировочного расчета прочности цемента в возрасте 28 сут можно использовать результаты испытаний образцов-балочек более раннего срока твердения. При этом используют приближенную эмпирическую формулу:

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n},$$

где R_{28} – прочность цемента в возрасте 28 сут, МПа; R_n – то же в возрасте n сут, МПа; n – число суток твердения цемента ($n \geq 7$).

2.4. Проектирование состава тяжелого бетона

Проектирование состава бетона заключается в определении количества исходных материалов (вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей) на 1 м³ уплотнённой бетонной смеси. От правильности проектирования состава бетона зависит его средняя плотность, которая, в свою очередь, определяет такие свойства, как прочность, водонепроницаемость, теплопроводность и морозостойкость.

В рабочих чертежах конструкций или в стандартах на изделия обычно указывают требования к прочности бетона, его класс или марку.

Для конструкций, которые проектируют с учетом требований СТ СЭВ 1406–78, прочность бетона на сжатие характеризуется классами.

Класс бетона (В, МПа) определяется величиной гарантированной прочности на сжатие с обеспеченностью 0,95. Бетоны подразделяются на классы: В1; В1,5; В2; В2,5; В 3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В50; В55; В60.

На производстве контролируют среднюю прочность или марку бетона. Между классом бетона и его средней прочностью имеется зависимость $B = R(1 - tv)$, где R – средняя прочность, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа; t – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона; v – коэффициент вариации прочности бетона.

При переходе от класса бетона В к его средней прочности (R_6^{cp} , МПа), контролируемой на производстве, для образцов размера 15×15×15 см (при нормативном коэффициенте вариации 13,5 % и $t = 0,95$) следует принимать соотношение $R_6^{cp} = B/0,778$. Например, для класса В5 получим среднюю прочность $R_6^{cp} = 6,43$ МПа, а для класса В40 – $R_6^{cp} = 51,4$ МПа.

В настоящее время в ряде нормативных документов наблюдается переход от марки к классу бетона, однако для некоторых специальных конструкций остается обозначение марки бетона. Поэтому далее используются понятия как класса, так и марки бетона.

Средняя прочность, или марка, тяжелого бетона определяется пределом прочности при сжатии (МПа) стандартных бетонных кубов размерами 15×15×15 см, изготовленных из бетонной смеси в металлических формах и испытанных в возрасте 28 суток после твердения в нормальных условиях (температура 15...20 °С, относительная влажность окружающего воздуха 90...100 %). В строительстве используют следующие марки: М50, М75, М100, М150, М200, М225, М300, М350, М400, М450, М500, М600 и выше (через М100). На производстве необходимо обеспечить среднюю прочность, или заданную марку, бетона. Превышение ее допускается не более чем на 15 %, так как это ведет к перерасходу цемента.

Рациональным считается тот состав бетона, в котором расход вяжущего минимальный, а заполнителей (особенно крупных) максимальный, при условии получения плотного бетона.

Для определения состава бетона необходимо иметь исходные данные, характеризующие качество цемента и заполнителей:

1. Характеристика бетона:

- класс и марка бетона;
- удобоукладываемость бетонной смеси.

2. Характеристика заполнителей:

- гранулометрический состав;
- влажность;
- истинная и насыпная плотность;
- объем межзерновых пустот крупного заполнителя;
- наибольший размер зерен крупного заполнителя.

3. Характеристика цемента:

- марка;
- истинная плотность.

Для рационального использования цемента его марку задают в зависимости от класса бетона (табл. 2.13).

Таблица 2.13

| Проектная марка бетона | Марки цемента для тяжелого бетона | |
|------------------------|-----------------------------------|-------------|
| | рекомендуемые | допускаемые |
| M100 | 300 | - |
| M150 | 300 | 400 |
| M200 | 400 | 300, 500 |
| M250 | 400 | 300, 500 |
| M300 | 400 | 500, 550 |
| M350 | 400 | 500, 550 |
| M400 | 500 | 550, 600 |
| M450 | 500, 550 | 600, 400 |
| M500 | 550, 600 | 500, 400 |
| M600 и выше | 550, 600 | 500 |

В случае использования цемента высокой активности для бетонов низких марок рекомендуется применять минеральные добавки: золы-унос тепловых электростанций, доменные гранулированные шлаки, природные активные минеральные добавки.

Для определения состава обычного (тяжелого) бетона существует ряд расчетно-экспериментальных методов. Наибольшее распространение получил метод абсолютных объемов, предложенный проф. Б.Г. Скрамтаевым. В основе его лежит гипотеза, предусматривающая равенство плотности уплотненной бетонной смеси и абсолютной плотности (содержащийся в уплотненной бетонной смеси небольшой объем воздушных пор условно во внимание не принимается). В соответствии с этим абсолютный объем исходных материалов в 1 м³ смеси равен единице:

$$\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{Щ(\Gamma)}} + \frac{В}{\rho_{В}} = 1,$$

где Ц, П, Щ, В – расход цемента, воды, песка и щебня на 1 м³ бетонной смеси, кг; $\rho_{Ц}$, $\rho_{П}$, $\rho_{Щ}$, $\rho_{В}$ – истинные плотности цемента, песка, щебня и воды, кг/м³.

Одним из условий, принятых в методе абсолютных объемов, является то, что цементно-песчаный раствор расходуется на заполнение объема межзерновых пустот крупного заполнителя с некоторой раздвижкой его зерен. Это условие обозначается следующим уравнением:

$$\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{В}{\rho_{В}} = \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{Щ(\Gamma)}^{\text{нас}}} V_{П} \alpha,$$

где $\rho_{\text{щ(Г)}}^{\text{нас}}$ – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м³; $V_{\text{п}}$ – объем межзерновых пустот щебня (в долях единицы); α – коэффициент раздвигки зерен заполнителя (коэффициент избытка раствора).

Подбор состава бетона методом абсолютных объемов осуществляют в три этапа:

1) предварительный расчет расхода материалов на пробные замесы;

2) корректировка состава пробных замесов;

3) определение расхода материалов на 1 м³ бетонной смеси.

Ориентировочный расход воды определяют в зависимости от заданной подвижности (жесткости) бетонной смеси и наибольшего размера зерен крупного заполнителя (табл. 2.14).

Таблица 2.14

Расход воды, л, на 1 м³ бетонной смеси

| Удобоукладываемость бетонной смеси | | При наибольшем размере зерен заполнителей, мм | | | | | |
|------------------------------------|--------------|---|-----|-----|--------|-----|-----|
| | | Гравий | | | Щебень | | |
| Осадка конуса, см | Жесткость, с | 10 | 20 | 40 | 10 | 20 | 40 |
| 0 | 150...200 | 1405 | 130 | 120 | 155 | 145 | 130 |
| 0 | 90...120 | 150 | 135 | 125 | 160 | 150 | 135 |
| 6 | 60...80 | 160 | 145 | 130 | 170 | 160 | 145 |
| 0 | 30...50 | 165 | 150 | 135 | 175 | 165 | 150 |
| 0 | 20...30 | 175 | 160 | 140 | 185 | 175 | 155 |
| 1 | 15...20 | 180 | 165 | 145 | 195 | 180 | 160 |
| 2...2,5 | – | 185 | 170 | 150 | 200 | 185 | 165 |
| 3...4 | – | 190 | 175 | 155 | 205 | 190 | 170 |
| 5 | – | 195 | 180 | 160 | 210 | 195 | 175 |
| 7 | – | 200 | 185 | 170 | 215 | 200 | 180 |
| 8 | – | 210 | 195 | 175 | 220 | 205 | 185 |
| 10...12 | – | 220 | 205 | 185 | 230 | 215 | 195 |

Примечание. Данные представлены для цементов с нормальной густотой теста 26...28 и песка с модулем крупности 2. При изменении нормальной густоты теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды следует уменьшать на 3 – 5 л/м³, в большую – увеличивать на то же значение. В случае изменения модуля песка на каждые 0,5 % его значения в меньшую сторону расход воды необходимо увеличивать на 3...5 л/м³, а в большую – уменьшать на такое же количество.

Затем из формулы прочности бетона определяют значение Ц/В. Для этого используют формулу Боломея-Скрамгаева:

для пластичных смесей

$$R_6^{28} = AR_{ц} \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right) \quad \text{при } Ц/В < 2,5;$$

для жестких смесей

$$R_6^{28} = A_1 R_{ц} \left(\frac{Ц}{В} + 0,5 \right) \quad \text{при } Ц/В > 2,5.$$

Значения коэффициентов качества заполнителей А и А₁ принимают по табл. 2.15.

Таблица 2.15

Значения коэффициентов А и А₁

| Качество заполнителей | А | А ₁ |
|-----------------------|------|----------------|
| Высокое | 0,65 | 0,43 |
| Среднее | 0,60 | 0,40 |
| Низкое | 0,55 | 0,37 |

После определения значения Ц/В вычисляют расход цемента (Ц) на 1 м³ бетонной смеси, кг:

$$Ц = \left(\frac{Ц}{В} \right) В.$$

Расход щебня (гравия) Щ(Г) и песка на 1 м³ бетонной смеси вычисляют по следующим формулам, кг:

$$Щ = \frac{1}{\frac{V_{п} \cdot \alpha}{\rho_{щ(г)}^{нас}} + \frac{1}{\rho_{щ(г)}}},$$

$$П = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}} \right) \right] \cdot \rho_{п}.$$

Значения коэффициента раздвижки зерен для умеренно жестких бетонных смесей принимаются равными 1,15...1,2, а для жестких бетонных смесей – 1,05...1,1. Для подвижных бетонных смесей коэффициент α зависит от расхода цемента и принимается согласно данным табл. 2.16.

Таблица 2.16

Значения коэффициента α раздвижки зерен заполнителя для подвижных бетонных смесей

| Расход цемента на 1 м ³ бетонной смеси | Значения α | |
|---|-------------------|----------------|
| | Бетон на гравии | Бетон на щебне |
| 250 | 1,34 | 1,3 |
| 300 | 1,42 | 1,36 |
| 350 | 1,48 | 1,42 |
| 400 | 1,52 | 1,47 |

Примечание. При других значениях Ц и В/Ц коэффициент α назначают интерполяцией.

После подсчёта расхода материала на 1 м³ бетонной смеси рассчитывают расход материалов на пробный замес объемом 10 дм³. Затем готовят три пробных замеса объемом до 10 дм³ каждый. В первом замесе значение Ц/В принимается равным расчётному, во втором – на 0,05 меньше, в третьем – на 0,05 больше. Во всех замесах подвижность (жесткость) должна быть равна заданной величине. Если во всех трёх замесах подвижность (жесткость) бетонной смеси окажется меньше заданной, то в смесь небольшими порциями добавляют цемент и воду (5...10 % от первоначальной массы), сохраняя расчётное соотношение между ними. При получении подвижности больше заданной в смесь небольшими порциями добавляют песок и щебень, не изменяя расчетного соотношения между ними. Получив замесы бетонной смеси с заданной подвижностью (жесткостью), из них изготавливают образцы кубической формы для определения предела прочности при сжатии ($R_{сж}$) в установленные сроки твердения. По полученным результатам испытаний строят графическую зависимость между $R_{сж}$ и Ц/В. Из графика определяют фактическое значение Ц/В, обеспечивающее заданную прочность бетона.

Если для ускорения твердения использует метод ТВО, то прочность бетона составляет 70...80 % от марочной.

Затем, исходя из найденного значения Ц/В, пересчитывают расход цемента, песка и щебня (гравия) на 1 м³ бетонной смеси.

Для определения подвижности смеси используют стандартный конус, который заполняют в три приёма бетонной смесью, уплотняя каждый слой штыкованием (25 раз). После заглаживания верхней поверхности конус медленно поднимают вертикально. Подвижная смесь, освобождённая от формы, дает осадку, которая служит мерой ее подвижности. Смеси, не дающие осадку, называются жесткими. Определение жесткости производится в специальном приборе, состоящем из цилиндра, стандартного конуса, устанавливаемого в цилиндре, и диска с шестью отверстиями, укрепляемого на специальной штанге. Прибор устанавливают на виброплощадке. Конус, как и при определении подвижности, заполняют бетонной смесью, затем его снимают и на поверхность смеси устанавливают диск. Включают виброплощадку и продолжают вибрирование до тех пор, пока не начнётся выделение цементного клея из двух отверстий диска. Затраченное время в секундах является показателем жесткости.

Если удобоукладываемость окажется меньше расчётной, то корректируют состав смеси, увеличивая на 10 % количество цементного теста, не меняя водоцементного отношения (уяснить, почему), и заново ее проверяют. Если удобоукладываемость больше расчётной, то увеличивают на 10 % содержание песка и крупного заполнителя, не меняя соотношения между ними.

Для откорректированной бетонной смеси определяют среднюю плотность. С этой целью используют мерный цилиндр объёмом (V) 3-5 л. Бетонную смесь укладывают в цилиндр и уплотняют на виброплощадке. Время уплотнения принимается для жёстких смесей равным показателю жесткости, увеличенному на 30 с, а для подвижных смесей в пределах 5...30 с. Поверхность уплотненной смеси заглаживают вровень с краями цилиндра и при помощи взвешивания определяют массу (m) бетонной смеси в цилиндре (как разность масс цилиндра со смесью и пустого цилиндра). Средняя плотность (ρ_6^{Φ}) бетонной смеси (фактическая) рассчитывается как соотношение массы и объема.

По полученному результату можно рассчитать коэффициент уплотнения ($K_{упл}$) бетонной смеси как соотношение фактической

средней плотности к теоретической, которая рассчитывается кг/л, в предположении, что бетонная смесь не содержит воздуха:
 $\rho_6^{\phi} = (\text{Ц} + \text{П} + \text{Щ} + \text{В}) / 1000$.

По величине $K_{\text{упл}}$ можно судить, хорошо ли уплотнена бетонная смесь ($K > 0,98$) и, следовательно, правильно ли выбрана ее удобоукладываемость, Недоуплотнённая бетонная смесь ($K_{\text{упл}} < 0,93$) является следствием ее недостаточной удобоукладываемости.

После определения средней плотности изготавливают стандартные образцы бетона (не менее трех) для определения его марки. Стандартные размеры образца 15×15×15 см. Разрешается использовать образцы с размерами 10×10×10 см при наибольшей крупности заполнителя до 20 мм.

Изготовленные образцы хранятся во влажных условиях в течение 28 суток и затем испытываются на прочность при сжатии. Иногда образцы бетона могут быть испытаны до истечения 28 суток. В этом случае прочность на 28-е сутки определяется по формуле Б.Г. Скрамтаева: $R_{\text{сж}}^{28} = (R_{\text{сж}}^n \lg 28) / \lg n$, где n – возраст образцов в момент испытаний.

При испытании образцов с размерами менее 15×15×15 см необходимо учитывать завышение предела прочности на сжатие. Поэтому их прочность для ее приведения к прочности стандартных кубиков необходимо умножить на $K = 0,85$.

В случае несоответствия показателей прочности вновь проводят корректировку состава бетона путём соответствующего изменения количества цемента (уяснить, почему), затем также изготавливают и испытывают образцы.

В итоге должен быть получен окончательный состав бетона. При его корректировке подсчитывают общую массу замеса (m) и определяют её объём (V_6), учитывая фактическую среднюю плотность бетона (ρ_6^{ϕ}): $V_6 = m / \rho_6^{\phi}$.

По известному расходу материалов на замес и его объёму находят расход материалов на 1 м³ бетонной смеси:

$$\text{Ц}^* = \text{Ц} 1000 / V_6; \text{П}^* = \text{П} 1000 / V_6; \text{Щ}^* = \text{Щ} 1000 / V_6,$$

где Ц^* , П^* , Щ^* – окончательный расход соответствующего компонента на 1 м³ бетонной смеси, если производилась корректировка состава, кг.

Окончательный расход материалов для приготовления 1 м³ бетонной смеси записывают в виде соотношения по массе:

$$\frac{\text{Ц}}{\text{Ц}} : \frac{\text{П}}{\text{Ц}} : \frac{\text{Ш}}{\text{Ц}} \text{ при } \frac{\text{В}}{\text{Ц}}$$

и по объёму:

$$\frac{V_{\text{ц}}^{\text{ест}}}{V_{\text{ц}}^{\text{ест}}} : \frac{V_{\text{п}}^{\text{ест}}}{V_{\text{п}}^{\text{ест}}} : \frac{V_{\text{ш}}^{\text{ест}}}{V_{\text{ц}}^{\text{ест}} \text{ Ц}} : \text{при } \frac{\text{В}}{\text{Ц}}$$

Естественный объем каждого компонента определяют как отношение массы компонента (кг) с его насыпной плотностью (кг/л). Зная расход материалов, определяют коэффициент выхода (β) бетонной смеси, который показывает, какой объем бетонной смеси получается из 1 м³ сухих компонентов:

$$\beta = 1000 / (V_{\text{ц}}^{\text{ест}} + V_{\text{п}}^{\text{ест}} + V_{\text{ш}}^{\text{ест}})$$

По результатам испытаний образцов строятся графические зависимости:

$$R_6 = f(\text{В/Ц}) \text{ и } R_6 = f(\text{Ц/В}).$$

2.5. Строительные растворы

Строительными растворами называют искусственные каменные материалы, полученные в результате затвердевания рационально подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя. Смесь этих компонентов до затвердевания является растворной смесью.

Строительные растворы классифицируются по следующим ведущим признакам: средней плотности, виду вяжущего вещества, назначению.

По средней плотности в сухом состоянии растворы подразделяются:

- на обыкновенные (тяжелые) со средней плотностью 1500 кг/м³ и более;
- легкие, имеющие среднюю плотность менее 1500 кг/м³.

По виду вяжущего вещества различают строительные растворы цементные, известковые и гипсовые. Строительные растворы, в состав которых входит только один вид вяжущего, называются простыми.

По техническим или экономическим соображениям в цементных растворах часть цемента заменяют известью или глиной. Такие растворы получили название смешанных (цементно-известковые, цементно-глиняные). Смешанные растворы получают также смешиванием, например, извести и гипса для ускорения твердения известковых растворов. Такие растворы называют известково-гипсовыми.

По назначению строительные растворы бывают:

- кладочные – для каменных кладок и кладки стен из крупных элементов;
- отделочные – для штукатурки, изготовления архитектурных деталей, нанесения декоративных слоев на стеновые блоки и панели;
- специальные, разновидности которых имеют узкое применение, но обладают некоторыми ярко выраженными или особыми свойствами (акустические, рентгенозащитные, тампонажные и т.д.)

Качество растворных смесей характеризуется их удобоукладываемостью, то есть способностью легко укладываться на основание тонким, равномерным по толщине и однородным по плотности слоем, прочно сцепляющимся с поверхностью. Удобоукладываемость растворных смесей зависит от их подвижности и водоудерживающей способности.

2.5.1. Подвижность растворной смеси

Подвижностью растворной смеси называют ее способность растекаться под действием собственного веса или приложенных к ней внешних сил. Она определяется с помощью прибора, называемого конусом СтройЦНИЛа, и измеряется глубиной погружения в растворную смесь (в см) стального точеного конуса. Внешний вид этого прибора представлен на рис. 2.7.

Для испытаний готовят 2,5 л растворной смеси, которую перед укладкой перемешивают в течение 5 мин, после чего наполняют ею сосуд 9 (на один сантиметр ниже его краев), изготовленный в виде конуса. Уложенную смесь штыкуют 25 раз стальным стержнем диаметром 10...12 мм, затем сосуд встряхивают 5...6 раз легким постукиванием о стол. Вслед за этим острие конуса 3 опускают до поверхности растворной смеси и устанавливают стрелку против нуля на циферблате 2. Нажимая пружинную кнопку, дают возможность конусу свободно погрузиться в смесь.

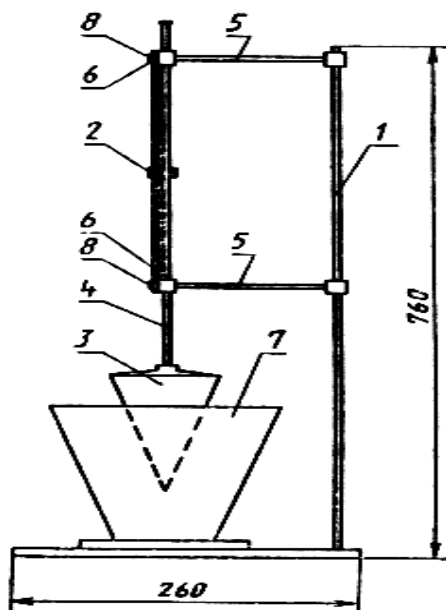


Рис. 2.7. Конус СтройЦНИЛ:

1 – штатив; 2 – циферблат; 3 – конус; 4 –скользящий стержень; 5,6 – держатели; 7 – сосуд с раствором; 8 – пружинная кнопка.

Величина пластичности или подвижности смеси (в см) принимается как среднее арифметическое результатов двух испытаний. Второе испытание производят с новой порцией раствора. В зависимости от назначения растворы должны иметь следующую пластичность (глубину погружения конуса): для кирпичной кладки 9...13, для вибрированной бутовой кладки 1...3.

2.5.2. Водоудерживающая способность растворной смеси

Важным свойством растворных смесей является их способность удерживать в себе воду. Это объясняется тем, что растворы обычно укладывают на пористое основание (кирпичное, бетонное), которое впитывает воду. В результате степень обезвоживания раствора может оказаться столь значительной, что воды будет недостаточно для твердения раствора и он не достигнет необходимой прочности. С другой стороны, отсасывание части воды из раствора

несколько уплотняет растворную смесь в кладке, за счет чего повышается прочность раствора.

Предел водоудерживающей способности характеризуется увеличением не менее чем на 15 % прочности при сжатии стандартных образцов, приготавливаемых в формах без дна и помещаемых на кирпич, по сравнению с прочностью образцов, приготавливаемых в формах с металлическим поддоном. Определение предела водоудерживающей способности растворной смеси производится при подвижности ее от 8 до 6 см. Методика изготовления и испытания образцов будет изложена ниже.

2.5.3. Предел прочности при сжатии

По прочности на сжатие растворы подразделяются на марки: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 и 300.

Для определения прочности на сжатие раствора (или марки) изготавливают три куба размером 7,07×7,07×7,07 см.

Образцы из растворной смеси подвижностью более 4 см изготавливают в формах без поддона, менее 4 см – в формах с плотным поддоном (металлическим или стеклянным).

Формы без поддона устанавливают на кирпич влажностью не более 2 % и водопоглощением не менее 10 % по весу. Кирпич предварительно покрывают мокрой бумажной прокладкой. Формы заполняют растворной смесью за один прием. Смесь штыкуют 25 раз стальным стержнем диаметром 10...12 см.

Формы с поддоном заполняют растворной смесью в два слоя; высота каждого слоя до уплотнения около 4 см. Каждый слой уплотняют 12 нажимами шпателя: 6 нажимами с одной стороны куба и 6 в перпендикулярном направлении.

Образцы освобождают из форм через 24 ± 2 часа после укладки растворной смеси и хранят до момента испытания при температуре $20 + 5^\circ\text{C}$ и следующих условиях:

– для растворов, твердеющих на воздухе, – трое суток во влажной среде (влажность воздуха более 90 %), а остальное время до испытания – в комнатных воздушных условиях;

– для растворов, твердеющих во влажной среде, – трое суток при влажности более 90 %, а остальное время – в воде.

Испытание образцов производят на прессе.

Предел прочности при сжатии [частное от деления величины разрушающего груза (в кг) на рабочую грань (в см)] определяется как среднее арифметическое предела прочности двух образцов, давших наибольшие результаты.

2.5.4. Морозостойкость

Морозостойкость характеризует способность образцов раствора, насыщенных водой, выдерживать заданное количество циклов замораживания и оттаивания, после чего прочность образцов не должна снижаться более чем на 25 % при потере их в весе не более 5 %.

Прочность на сжатие образцов раствора определяется после заданного количества циклов замораживания и оттаивания, а потеря в весе – после каждых пяти циклов.

Для испытания раствора на морозостойкость изготавливают из растворной смеси шесть образцов размерами 7,07×7,07×7,07 см. Из них три образца испытывают на морозостойкость, а три остальных являются контрольными.

По истечении заданного срока твердения три насыщенные водой образца помещают в холодильную камеру при температуре не выше –15 °С. По истечении шести часов образцы вынимают из камеры и погружают на час в ванну с водой при температуре 10...20 °С. Затем производят второй и последующие циклы замораживания и оттаивания образцов.

Далее замораживаемые и контрольные образцы подвергают испытанию на сжатие.

У образцов, потерявших в массе перед испытанием на сжатие более 2 %, грани, прилегающие к плитам пресса, выравнивают путем подливки цементного теста. После этого образцы выдерживают на воздухе трое суток и затем испытывают на сжатие.

Прочность тех и других образцов сравнивают между собой и устанавливают, на сколько процентов снизилась прочность на сжатие замораживаемых образцов в сравнении с прочностью контрольных.

По морозостойкости (F) устанавливают следующие марки растворов: 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200, 300.

2.5.5. Подбор состава строительного раствора

Состав строительного раствора выбирают исходя из заданной марки и степени подвижности растворной массы, необходимой по условиям производства работ.

Составы растворов марок ниже 25 содержатся в специальных инструкциях по растворам. Если по результатам испытаний они отклоняются от заданных показателей, в их состав вводят необходимые поправки.

Для растворов марок 25 и выше состав подбирают по способу, разработанному профессором Н. А. Поповым.

Подбор состава *смешанного раствора* осуществляется в несколько этапов.

1. Рассчитывают количество цемента на 1 м^3 песка, обеспечивающее получение раствора заданной марки:

$$R_{28} = KR_{\text{ц}}(\text{Ц} - 0,05) + 4,$$

где R_{28} – предел прочности раствора при сжатии, кг/м^3 ; K – коэффициент, учитывающий качество песка и примерно равный: для крупного песка с малой пустотностью – 1; для песка средней крупности – 0,8; для мелкого песка – 0,5...0,7; $R_{\text{ц}}$ – активность цемента, кг/м^3 ; Ц – расход цемента, т, на 1 м^3 песка; (+4) – постоянный член, определяющий примерную марку смешанных растворов, содержащих столь мало цемента (50 кг/м^3 песка), что он при обычной продолжительности смешивания не может быть равномерно распределен по всей массе.

Для растворов, содержащих менее 50 кг или более 550 кг цемента, эта формула не применима.

При подборе состава смешанного раствора пользуются вышеуказанной формулой в преобразованном виде:

$$\text{Ц} = (R_{28} - 4)/KR_{\text{ц}} + 0,05.$$

2. Определяют количество объемных частей песка (Π), приходящегося на одну объемную часть цемента, имеющего определенную плотность ($\rho_{\text{нас}}$):

$$\Pi = \rho_{\text{нас}} / \text{Ц},$$

где Ц – расход цемента, т, на 1 м^3 песка.

Минимальный расход цемента для цементно-глиняных растворов должен быть – не менее $0,1 \text{ т/м}^3$, а для цементно-известковых не менее $0,075 \text{ т/м}^3$ рыхлого песка.

3. Находят количество объемных частей известкового (И) или глиняного теста (Г), приходящегося на одну объемную часть цемента и необходимого для получения удобоукладываемого раствора:

$$И(Г) = 1,15П - 0,3.$$

Полученное на основании этой формулы количество теста уточняют путем опытной проверки удобоукладываемости и нераскисаемости раствора. При введении в раствор поверхностно-активных добавок расход известкового теста можно уменьшить; можно их и совсем не вводить, особенно для составов 1:5 и более жирных. Для растворов, содержащих мылонафт, количество объемных частей известкового теста приближенно устанавливается из эмпирической формулы

$$И = 0,05П - 0,25.$$

При подборе состава *простого* цементного раствора используют известную формулу Н.А. Попова:

$$R_{28} = 25 R_{ц} (Ц/В - 0,4),$$

где R_{28} – предел прочности при сжатии раствора в возрасте 28 сут, кг/см²; $R_{ц}$ – активность цемента, кг/см²; Ц/В – цементно-водное отношение.

Примеры расчета состава смешанного и простого строительного раствора приведены в приложении 3.

2.6. Металлы и сплавы

Металлы, применяемые в строительстве, разделяются на две группы – черные и цветные.

Черные металлы представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме того, в них могут содержаться в большем или меньшем количестве и другие химические элементы (кремний, марганец, сера, фосфор). С целью придания черным металлам специфических свойств в их состав вводят улучшающие или легирующие добавки (никель, хром, медь и др.). Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяются на чугуны и стали.

Чугун – железоуглеродистый сплав с содержанием углерода 2...4,3 %.

В зависимости от назначения различают чугуны литейные, пердеельные и специальные. Литейные чугуны применяют для от-

ливки различных строительных деталей; передельные – для производства стали; специальные – в качестве добавок при производстве стали и чугуна литья специального назначения.

Наличие в чугуне марганца, кремния, фосфора, а также легирующих добавок – никеля, хрома, магния и др. – придает ему высокие механические свойства и обеспечивает жаростойкость и коррозионную стойкость. Чугуны с добавками никеля, хрома, магния и других элементов называют легированными. Высокопрочные чугуны получают модифицированием жидкого чугуна присадками Si, Ca и др.

Сталь – ковкий железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2 %.

В зависимости от способа получения различают стали мартеновские, конвертерные и электростали. *По химическому составу* в зависимости от входящих в сплав химических элементов стали бывают углеродистые и легированные. К углеродистым сталям относят сплавы железа с углеродом и примесями марганца, кремния, серы и фосфора. Углеродистую сталь, полученную различными способами, *по характеру застывания* принято разделять на спокойную, полуспокойную и кипящую. Легированными называют стали, в состав которых входят легирующие добавки (никель, хром, вольфрам, молибден, медь, алюминий и др.). *В зависимости от введенной легирующей добавки* сталь может быть хромомарганцевой, марганцевоникелемедистой и т.д. Кроме того, *по суммарному содержанию добавок* различают стали низколегированные (с содержанием легирующих добавок до 2,5 %), среднелегированные (с содержанием легирующих добавок от 2,5 до 10 %) и высоколегированные (с содержанием легирующих добавок более 10 %).

По назначению стали могут быть конструкционные (применяемые для изготовления различных строительных конструкций и деталей машин), специальные (характеризующиеся высокой жаро- и износостойкостью, а также коррозионной стойкостью) и инструментальные.

По качеству – обыкновенные (рядовые), качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Основные свойства металлов и сплавов подразделяют на механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные.

К физическим свойствам относятся температура плавления, плотность, температурный коэффициент расширения, электросопротивление и теплопроводность. Физические свойства сплавов обусловлены их составом и структурой.

К химическим свойствам – способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами.

Способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки определяют по его технологическим свойствам. *К технологическим свойствам* металлов и сплавов относятся литейные свойства, деформируемость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом. Эти свойства позволяют производить формоизменяющую обработку и получать заготовки и детали машин.

Литейные свойства определяются жидкотекучестью, усадкой и склонностью к ликвации (неоднородности).

Деформируемость – это способность принимать необходимую форму под влиянием внешней нагрузки без разрушения и при наименьшем сопротивлении нагрузке.

Свариваемость – это способность металлов и сплавов образовывать неразъемные соединения требуемого качества.

Эксплуатационные свойства включают коррозионную стойкость, хладостойкость, жаропрочность, жаростойкость и антифрикционность материала.

Коррозионная стойкость – сопротивление сплава действию агрессивных кислотных и щелочных сред.

Хладостойкость – способность сплава сохранять пластические свойства при температурах ниже 0 °С.

Жаропрочность – способность сплава сохранять механические свойства при высоких температурах.

Жаростойкость – способность сплава сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах.

Антифрикционность – способность сплава прирабатываться к другому сплаву.

Эти свойства определяются, в зависимости от условий работы машины или конструкции, специальными испытаниями.

Ключевыми механическими свойствами металлов и сплавов являются твердость, ударная вязкость, предел текучести, предел прочности при растяжении и относительное удлинение [37, 40].

2.6.1. Твердость металлов

Твердость измеряется при помощи воздействия на поверхность металла наконечника (индентора), имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы. Наконечник изготавливается из малодеформирующегося материала – твердой закаленной стали, алмаза или твердого сплава. По характеру воздействия наконечника на металл различают несколько методов измерения твердости: вдавливание наконечника (метод вдавливания), метод царапания, метод упругого отскока бойка и др. Твердость, определенная по методу царапания, характеризует сопротивление разрушению; твердость, определенная вдавливанием, – сопротивление пластической деформации.

Наибольшее применение для металлов и сплавов получило измерение твердости вдавливанием. В этом случае *твердость* – свойство металла оказывать сопротивление пластической деформации при контактном приложении нагрузки. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным металлом.

2.6.1.1. Испытание на твердость по Бринеллю

Испытание на твердость по Бринеллю производится путем вдавливания в испытуемый образец стального шарика определенного диаметра под воздействием заданной нагрузки в течение определенного времени (рис. 2.8, а).

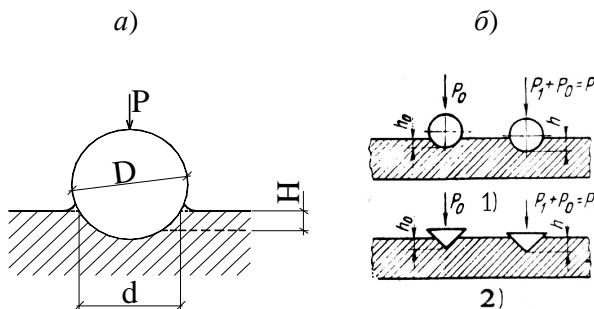


Рис. 2.8. Испытание на твердость по Бринеллю (а) и Роквеллу (б):
1 – шариком; 2 – алмазным конусом

В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Отношение нагрузки P (Н) к поверхности полученного отпечатка шарика (шарового сегмента) F (мм²) дает число твердости, обозначаемое HB :

$$HB = \frac{P}{F}.$$

Поверхность F шарового сегмента рассчитывают так:

$$F = DH\pi,$$

где D – диаметр вдавливаемого шарика, мм; H – глубина отпечатка, мм.

Так как глубину отпечатка H измерить трудно, а проще измерить диаметр отпечатка d , то величину H (мм) можно выразить через диаметры шарика D и отпечатка d :

$$H = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}.$$

Тогда поверхность F шарового сегмента, мм²,

$$F = \frac{\pi D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right).$$

Отсюда число твердости по Бринеллю определится по формуле

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}.$$

В зависимости от толщины образца (табл. 2.17) применяют шарики различного диаметра ($D = 10; 5; 2,5$ мм).

Таблица 2.17

Выбор нагрузки и диаметра шарика

| Толщина образца, мм | Диаметр шарика, мм | Нагрузка P , Н | | |
|---------------------|--------------------|------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | Сталь, чугун | Медь, латунь, бронза | Алюминиевые и магниевые сплавы |
| Более 6 | 10 | 30000 | 10000 | 5000 |
| От 3 до 6 | 5 | 7500 | 2500 | 1250 |
| Менее 3 | 2,5 | 1875 | 625 | 312 |

Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавливаться шарик, следует обработать наждачным камнем или напильником, чтобы она была ровной, гладкой и без дефектов.

Прибором для испытания на твердость по Бринеллю является автоматический рычажный пресс (рис. 2.9). Наконечник с шариком вставляют в шпиндель твердомера и закрепляют. На подвеску устанавливают грузы в соответствии с выбранной нагрузкой. Вращением рукоятки прижимают образец, установленный на столике, к шарик до упора и дают полную нагрузку. После остановки двигателя столик опускают, извлекают образец и измеряют диаметр полученного отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи микроскопа. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее $2,5d$, а между центрами соседних отпечатков – не менее $4d$.

По среднему арифметическому значению диаметра отпечатка определяют твердость в соответствии с формулой (2.1).

Для некоторых материалов существует прямолинейная зависимость между твердостью по Бринеллю (НВ) и пределом прочности при растяжении (σ_b):

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| сталь отожженная (НВ 1250 – 1750) | $\sigma_b = 0,343 \text{ НВ};$ |
| сталь отожженная (НВ более 1750) | $\sigma_b = 0,362 \text{ НВ};$ |
| медь, латунь, бронза отожженные | $\sigma_b = 0,55 \text{ НВ}.$ |

Результаты заносят в протокол (форма табл. 2.18).

Форма таблицы 2.18

Протокол испытания на твердость по Бринеллю

| Диаметр (d) отпечатка, мм | | | | НВ, Н/мм ² | Расчетное значение σ_b , МПа | Марка стали | Содержание углерода, % |
|-------------------------------|-------|-------|------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------------|
| d_1 | d_2 | d_3 | Среднее значение | | | | |
| | | | | | | | |

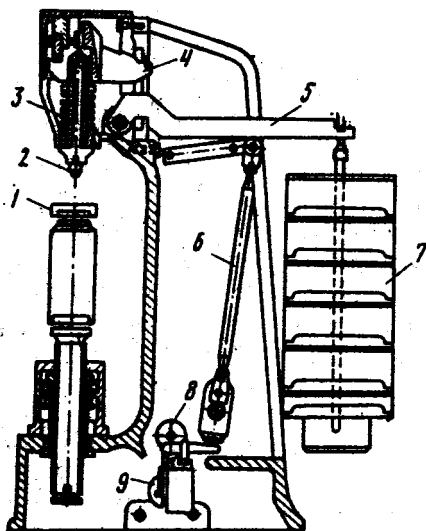


Рис. 2.9. Автоматический рычажный пресс Бринелля:

1 – столик; 2 – шарик; 3 – пружина; 4...6 – рычаги;

7 – груз; 8 – эксцентрик; 9 – звонок

Химический состав сталей различных марок, в том числе содержание в них углерода, представлен в прил. 18. Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества отражены в табл. 2.20.

2.6.1.2. Испытание на твердость по Роквеллу

Прибор Роквелла для определения твердости имеет широкое применение, так как дает возможность испытывать мягкие, твердые, а также тонкие материалы. Испытание с помощью этого прибора легко выполняется, не требует никаких измерений, а число твердости читается прямо на шкале. Значения твердости по Роквеллу безразмерны.

Определение твердости по Роквеллу основано на вдавливании в испытуемый материал алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм. Шарик или алмаз вдавливаются в образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок: предварительной $P_0 = 100$ Н и общей P , равной

сумме предварительной и основной: $P = P_0 + P_1$ (основная нагрузка P_1 составляет 0,6; 1 или 1,5 кН).

Конструкции приборов Роквелла и Бринелля аналогичны: в приборе Роквелла также используется рычажная система нагружения. Плавность подачи нагрузки достигается с помощью масляного тормоза.

Глубину вдавливания шарика или конуса измеряют по шкале индикатора, установленного на приборе. Индикатор снабжен тремя шкалами A , B и C , соответствующими различным условиям испытаний (шкалы A и C служат при испытании алмазным конусом с основной нагрузкой P_1 соответственно 0,6 и 1,5 кН, а шкала B — при испытании стальным шариком с нагрузкой 1 кН). Глубину вдавливания по индикатору определяют с погрешностью не более 0,01 мм.

При определении твердости по Роквеллу (рис. 2.8, б) сначала испытуемый образец подвергают действию предварительной нагрузки P_0 , замеряя глубину погружения наконечника h_0 , затем плавно (в течение 3...6 с) подают основную нагрузку P_1 и замеряют глубину погружения наконечника h при полной нагрузке: $P = P_0 + P_1$. Испытания проводят не менее чем в трех точках образца.

Значение твердости рассчитано по формулам $HR = (100 - e) -$ для шкал A и C ; $HR = (130 - e) -$ для шкалы B . Значение параметра e вычислено по формуле $e = (h - h_0)/0,002$.

Число твердости по Роквеллу отвлеченное; перед числом ставят знак HR с добавлением обозначения шкалы (A , B или C), по которой производилось испытание (например, HRB 110).

Результаты заносят в протокол (форма табл. 2.19).

Форма таблицы 2.19

Протокол испытаний на твердость по Роквеллу

| Число твердости | Твердость HR | | | | Твердость НВ (перевод) | Марка стали |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------|------------------------|-------------|
| | 1-е измерение | 2-е измерение | 3-е измерение | среднее | | |
| HRC | | | | | | |
| HRB | | | | | | |
| HRA | | | | | | |

Чем больше глубина вдавливания, тем меньше число твердости HR. Значения твердости по Роквеллу могут быть переведены в значения твердости по Бринеллю (прил. 4).

Для определения твердости по Роквеллу тонких образцов или слоев используют специальный прибор – Супер-Роквелл. Он отличается от обычных твердомеров меньшей величиной прилагаемой нагрузки и более точным индикатором.

С увеличением содержания углерода в железисто-углеродистом сплаве возрастают твердость и прочность при растяжении (до 1 % углерода), уменьшаются пластичность, электро- и теплопроводность.

Твердость стали повышается при волочении. Этот способ обработки стальных слитков заключается в их протягивании через отверстия (фильеры), размеры которых меньше сечения заготовки, вследствие чего заготовка обжимается и вытягивается. При волочении в стали появляется так называемый наклеп, который повышает ее твердость.

2.6.2. Ударная вязкость

Испытание на ударную вязкость производится изломом образца маятником, падающим с определенной высоты.

Работа удара A_k (кгс·м), затраченная на излом образца, определяется из разности энергии маятника в положении его до и после удара (рис. 2.10) по формуле

$$A_k = P(H - h) = PL(\cos \beta - \cos \alpha),$$

где P – масса маятника, кг; H – высота подъема центра тяжести маятника до удара, м; h – высота взлета маятника после удара, м; L – длина маятника, т. е. расстояние от его оси до центра тяжести, м; β , α – углы подъема маятника соответственно до и после излома образца.

Ударная вязкость a_k (кгс·м/см²) – это работа, израсходованная на ударный излом образца, отнесенная к поперечному сечению образца в месте надреза. Ударную вязкость определяют по формуле:

$$a_k = \frac{A_k}{F}, \quad (2.2)$$

где F – площадь поперечного сечения образца в месте надреза, см².

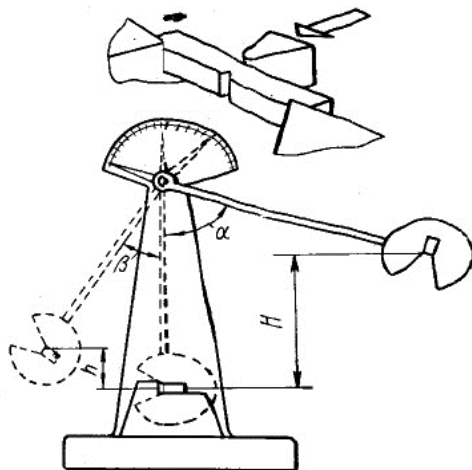


Рис. 2.10. Испытание на ударную вязкость

Подготовка и проведение испытания заключаются в следующем.

Замер образца производят с точностью до 0,1 мм. По данным замера вычисляют площадь поперечного сечения образца и записывают в протокол.

Поднимают немного маятник и помещают образец на опоры копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа. При помощи шаблона устанавливают надрез образца симметрично относительно опор и ножа маятника. Поднимают маятник в верхнее положение и закрепляют защелкой, при этом стрелка отклоняется и указывает угол подъема маятника. Запрещается устанавливать образец, когда маятник поднят на полную высоту и закрыт на защелку. В этом положении маятник представляет большую опасность для работающих, так как при случайном освобождении защелки может причинить тяжелые увечья. Отпускают защелку и производят удар по образцу. Останавливают качание маятника с помощью тормоза. Если образец не сломался, что может быть в случае недостаточного запаса энергии копра или в случае очень вязкого материала, то в протоколе испытания отмечают «не сломался». Для излома повторного образца увеличивают запас энергии маятника поднятием его на большую высоту. Записывают величину работы A_k в протокол. По формуле (2.2) определяют ударную вязкость об-

разца. Осматривают излом, дают ему характеристику (хрупкий, вязкий) и записывают в протокол.

2.6.3. Испытания арматурной стали на растяжение

Физико-механические испытания арматурной стали заключаются в испытании ее на растяжение для определения относительного удлинения после разрыва, предела текучести и временного сопротивления разрыву, а также в испытании стержневой арматуры на загиб в холодном состоянии и арматурной проволоки на перегиб.

Для испытания арматурной стали на растяжение полную длину образца выбирают с таким расчетом, чтобы его рабочая длина (часть образца, расположенная между губками захвата разрывной машины) составляла: для стали диаметром (d) до 20 мм – не менее 200 мм, свыше 20 мм – не менее 10 мм.

Таким образом, полная длина образца для стали диаметром до 20 мм принимается 300...350 мм, при диаметре 20...30 мм – 400...450 мм и при диаметре 32...40 мм – 550...600 мм.

Отобранные для испытания образцы измеряют и взвешивают с точностью до 1 г – при диаметре образца менее 10 мм, 2 г – при диаметре 10...20 мм и 10 г – при диаметре образца более 20 мм. Длину измеряют с точностью до 0,5 мм. По значениям длины и массы определяют площадь поперечного сечения образца F_0 , м²:

$$F_0 = \frac{m}{l\rho},$$

где m – масса образца, кг; l – длина образца, м; ρ – плотность стали ($\rho = 7850$ кг/м³).

Для круглых гладких образцов диаметром от 3 до 40 мм допускается вычислять площадь поперечного сечения по фактическому диаметру образца. Для этого с помощью штангенциркуля определяют фактический диаметр образца в трех местах по длине (в середине и по концам рабочей части образца), каждый раз в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Затем вычисляют средний фактический размер.

После определения площади поперечного сечения образца производят его кернование. Для этого по длине рабочей части образца вручную с помощью кернов или на делительной машине наносят риски.

Подготовленный к испытаниям образец устанавливают в захваты машины и закрепляют в них.

При проведении испытаний следят за нарастанием нагрузки по движению стрелки силоизмерительного прибора и за деформацией образца по диаграмме растяжения. Сначала стрелка будет двигаться равномерно, и на диаграмме растяжения (рис. 2.11), выражающей зависимость между нагрузкой (вертикальная ось) и абсолютным удлинением образца (горизонтальная ось), это выразится наклонной прямой (от начала координат до точки 1), которая свидетельствует о том, что удлинение образца возрастает пропорционально нагрузке. Через некоторое время стрелка на какой-то момент остановится, а затем вновь начнет двигаться.

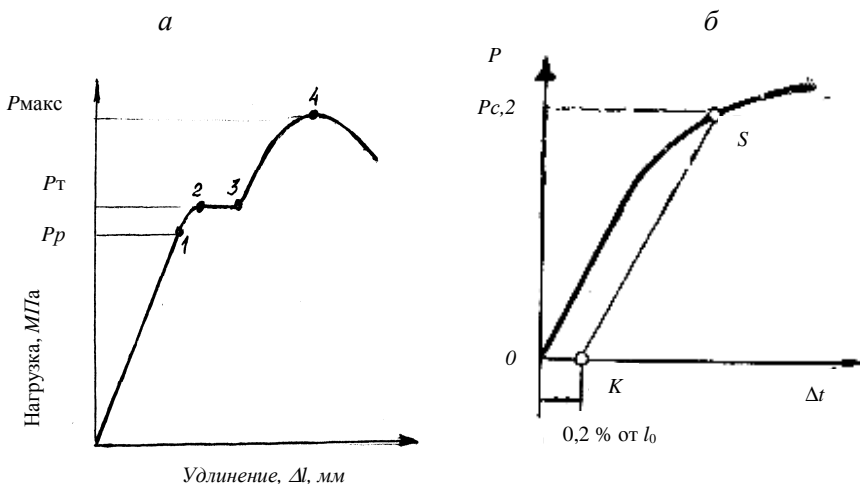


Рис. 2.11. Диаграмма растяжения:
 а – с площадкой текучести, б – без площадки текучести

Явно выраженная остановка стрелки силоизмерительного прибора указывает, что нагрузка достигла величины P_T (точка 2), при которой деформация образца происходит без заметного увеличения нагрузки, т.е. образец самопроизвольно вытягивается, металл течет. На диаграмме растяжения появляется горизонтальный участок «2 – 3». Напряжение, при котором появилась текучесть стали, называется *пределом текучести*. После кратковременной остановки стрелка вновь начинает двигаться, что свидетельствует о возрастании

тании нагрузки и деформации образца. Увеличение нагрузки производится до момента разрушения образца. Величину нагрузки $P_{\text{макс}}$, вызвавшую разрушение образца, определяют по показанию контрольной стрелки на шкале силоизмерительного прибора и записывают в протокол. На диаграмме максимальная нагрузка наблюдается в точке 4.

При отсутствии на диаграмме растяжения площадки текучести (рис. 2.11, б) рассчитывают *условный предел текучести* — напряжение, при котором остаточное удлинение (пластические деформации) достигает заданной величины, обычно 0,2 %. Соответственно условный предел текучести обозначается $\sigma_{0,2}$ и рассчитывается по формуле (2.3) с использованием в числителе $P_{0,2}$ взамен P_T .

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$$

Наиболее точная оценка величины $\sigma_{0,2}$ может быть выполнена при использовании тензометров. Поскольку допуск по удлинению для расчета условного предела текучести относительно велик, его часто определяют графически по диаграмме растяжения, если последняя записана в достаточно большом масштабе (не менее 10:1 по оси деформаций).

Физический предел текучести арматурной стали (σ_T , МПа) вычисляют с точностью до 5 МПа:

$$\sigma_T = \left(\frac{P_T}{F_0} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (2.3)$$

где P_T — нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н; F_0 — площадь поперечного сечения образца, м².

Временное сопротивление разрыву арматурной стали (σ_B , МПа),

$$\sigma_B = \left(\frac{P_{\text{макс}}}{F_0} \right) \cdot 10^{-6},$$

где $P_{\text{макс}}$ — наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н.

Относительное удлинение после разрыва арматурной стали, %,

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100 \%,$$

где l_0 – начальная расчетная длина образца, на которой определяется удлинение, мм; l_k – конечная расчетная длина, измеренная после разрыва образца на участке, включающем место разрыва, мм.

Величина l_0 (фактическая) устанавливается стандартом и принимается равной: для арматурной стали с номинальным диаметром 10 мм и более – $5d$; для стали диаметром 9 мм и менее – 100 мм.

Результаты испытаний заносят в протокол и по полученным результатам с использованием данных табл. 2.16, приложений 17, 18, 19 и 20 делают вывод о марке исследуемой стали и классе арматурной стали.

Таблица 2.20

Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества

| Марка стали | Предел текучести, кгс/мм ² (МПа) | Предел прочности при растяжении, кгс/мм ² (МПа) | Относительное удлинение, % |
|-------------|---|--|----------------------------|
| Ст0 | – | Не менее 32 (320) | 18...22 |
| Ст1 | – | 32...40 (320...400) | 28...33 |
| Ст2 | 19...22 (190...220) | 34...42 (340...420) | 26...31 |
| Ст3 | 21...24 (210...240) | 38...47 (380...470) | 21...27 |
| Ст4 | 24...26 (240...260) | 42...52 (420...520) | 19...25 |
| Ст5 | 26...28 (260...280) | 50...62 (500...620) | 17...20 |
| Ст6 | 30...31 (300...310) | 60...72 (600...720) | 11...16 |
| Ст7 | ... | 70 (700) и более | 8...11 |

2.6.4. Изучение структуры сплавов системы «железо-карбид железа»

Состояние технических сплавов железа (стали и чугуна) в зависимости от их химического состава и температуры описывается диаграммой состояния системы «железо-углерод» (рис. 2.12).

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую свойства сплава изменяются скачкообразно.

В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие составляющие:

аустенит – твердый раствор углерода в γ -железе с предельной концентрацией углерода 2,14 % при температуре 1145 °С; с понижением температуры до 727 °С концентрация углерода уменьшается до 0,8 %. Сталь со структурой аустенита немагнитна; имеет высокую пластичность и вязкость, низкий σ_B ; обладает хорошей ковкостью и твердостью (НВ = 1700...2200 МПа);

феррит – твердый раствор углерода в α -железе с предельной концентрацией углерода 0,02 % при температуре 727 °С; имеет малую твердость (НВ = 800 МПа) и высокую пластичность;

цементит – химическое соединение железа с углеродом Fe_3C (6,67 % С); имеет большую твердость (НВ = 8000 МПа) и хрупкость, слабомагнитен, плохо проводит электрический ток и тепло;

перлит – механическая смесь (эвтектоид) феррита и цементита, образующаяся при эвтектоидном распаде аустенита; сталь (0,8 % С), имеющая структуру перлита, обладает большой прочностью (σ_B до 820 МПа) и твердостью (НВ до 2000 МПа);

ледебурит (4,3 % С) – механическая смесь (эвтектика) аустенита или перлита и цементита; при температуре ниже 727 °С аустенит превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита; отличается высокой твердостью (НВ = 7000 МПа) и хрупкостью;

графит – углерод в свободном состоянии, располагающийся в основной массе металла и имеющий развитую объемную форму в виде пластинок; кроме пластинчатого графита можно получить графит компактных форм (шаровидный или хлопьевидный), образующийся в результате распада цементита или выделяющийся из пересыщенных твердых растворов железа с углеродом. Графит мягок и обладает низкой прочностью.

Основные свойства сплава определяются содержанием главной примеси – углерода. Взаимодействие углерода с α - или γ -модификациями железа приводит к образованию железоуглеродистых сплавов, различных по строению и свойствам. Построение диаграммы состояния железо-углерод (цементит) дает представление о температурных и концентрационных границах существования этих сплавов.

На диаграмме состояния «Железо-цементит» (рис. 2.12) линия *ACD* – *линия ликвидуса*, выше ее сплав находится в жидком со-

стоянии; линия $AECF$ – линия *солидуса*, ниже ее сплав находится в твердом состоянии. При температурах, соответствующих линии $AECF$, заканчивается первичная кристаллизация. В точке C при концентрации углерода 4,3 % образуется эвтектика, которая носит название ледебурит. Линия PSK – эвтектоидная линия, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации. Линия PS – линия нижних критических точек A_1 . Линия GSE – начало процесса вторичной кристаллизации твердого раствора. Линия GS – линия верхних критических точек A_3 ; она показывает температуру выделения феррита из аустенита. Линия SE – линия верхних критических точек A_m ; она показывает температуру начала выделения вторичного цементита и является линией предельной растворимости углерода в аустените.

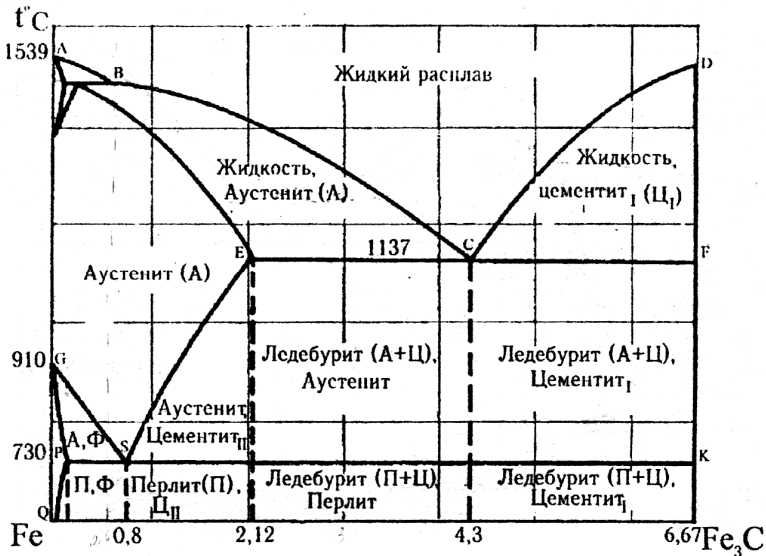


Рис 2.12 Диаграмма состояния железисто-углеродистых сплавов

Сплавы, содержащие до 2,14 % С, условно называют сталями, более 2,14 % С – чугунами. Сталь, содержащая 0,8 % С, называется *эвтектоидной сталью*; менее 0,8 % С – *доэвтектоидной*; более 0,8 % С – *заэвтектоидной*.

Диаграмму Fe–Fe₃C используют для определения видов и температурных интервалов термической обработки стали; для назна-

чения температурного интервала при обработке давлением; для определения температуры плавления и заливки сплава, его литейных свойств (жидкотекучести, усадки).

Основой процессов термической обработки является полиморфизм железа и его твердых растворов на базе α - и γ -железа. Полиморфные превращения стали данного состава происходят в определенном интервале температур, ограниченном нижней A_1 и верхними A_3 и A_m критическими точками.

В результате полиморфизма происходит перекристаллизация в твердом состоянии. *Перекристаллизация* – это изменение кристаллического строения стали при ее нагреве или охлаждении до определенных температур.

Таким образом, *термическая обработка* заключается в нагреве сплавов до определенных температур, выдержке их при этих температурах и последующем охлаждении с различной скоростью с изменением структуры сплава, а следовательно, и его свойств.

Перемена режима термической обработки позволяет получить различные физико-механические свойства и структуры железоуглеродистых сплавов.

Основными операциями термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг – фазовая перекристаллизация, нагрев доэвтектоидной стали выше точки A_3 , заэвтектоидной – выше точки A_m с последующим охлаждением вместе с печью. При полном отжиге структура сплава состоит из феррита и перлита (доэвтектоидные стали) или из перлита и вторичного цементита (заэвтектоидные стали). Отжиг снимает внутреннее напряжение, понижает твердость и повышает пластичность, устраняет химическую неоднородность. Неполный отжиг – это нагрев выше точки A_1 , но ниже A_3 ; происходит неполная фазовая перекристаллизация.

Диффузионный отжиг (гомогенизация) применяют для устранения дендритной или внутрикристаллитной ликвации в слитках легированной стали или крупных отливках. Отжиг проводят при температуре 1100...1200 °С в течение 8...20 часов.

В результате диффузионного отжига получают крупное зерно, поэтому слитки подвергают обработке давлением, а отливки для измельчения зерна – полному отжигу или нормализации.

Рекристаллизационный отжиг – нагрев выше температуры рекристаллизации ($T_{рек}$) – применяют для устранения явлений, свя-

занных с наклепом стальных изделий после их холодной деформации, в качестве промежуточной термической обработки. Температура нагрева в зависимости от состава стали 650...700 °С. Продолжительность нагрева до 1,5 ч. При таком отжиге происходит рекристаллизация феррита, а также может протекать коагуляция и сфероидизация цементита, что значительно повышает пластичность стали и облегчает обработку давлением.

Отжиг для снятия внутренних напряжений применяют для отливок, сварных изделий, а также других деталей, в которых в результате неравномерного охлаждения или неоднородной пластической деформации возникают остаточные напряжения. Температура отжига 350...600 °С. Время отжига составляет обычно несколько часов.

Отжиг II рода заключается в нагреве стали до температур выше точек A_{c3} или A_{c1} , выдержке и последующем медленном охлаждении. В результате такого отжига протекают фазовые превращения, приводящие к получению равновесной структуры.

Полный отжиг заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры, которая на 30...50 °С выше точки A_{c3} , и выдержке ее при этой температуре. В результате нагрева образуется мелкозернистый аустенит, который при медленном охлаждении превращается в мелкозернистую равновесную структуру, обеспечивающую высокую вязкость и пластичность, а также возможность получения высоких свойств после окончательной термической обработки. Полному отжигу обычно подвергают сортовой прокат, поковки и фасонные отливки.

Нормализация – нагрев стали выше точки A_3 с последующим охлаждением на воздухе; при этом достигается измельчение зерна и повышение прочности.

Закалка – нагрев стали выше точки A_3 и быстрое охлаждение в воде или масле; при этом повышаются ее твердость и прочность.

Регулируя скорость охлаждения стали из аустенитного состояния, можно получать различные структуры: мартенсит, троостит, сорбит и перлит.

Структура *мартенсита* образуется при быстром охлаждении в результате перехода решетки твердого раствора γ -железа (аустенита) в решетку твердого раствора α -железа (феррита) без выделения

углерода из раствора. Переход γ -железа в α -железо сопровождается изменением объемов кристаллических решеток, что вызывает появление внутренних дополнительных напряжений. Мартенсит представляет собой пересыщенный раствор углерода в α -железе с искаженной кристаллической решеткой. Сплав со структурой мартенсита обладает большой твердостью и прочностью.

Структура *троостита* образуется при более медленном охлаждении и представляет собой смесь феррита и цементита с высокой дисперсностью. Троостит имеет меньшую твердость и прочность, чем мартенсит.

Для получения структуры *сорбита* охлаждение должно быть еще более медленным. При этом зерна феррита укрупняются, образуется мелкодисперсная ферритокарбидная смесь.

Структура *перлита* образуется в результате очень медленного охлаждения сплава вместе с печью и является у эвтектоидных сталей конечной структурой распада аустенита; у доэвтектоидных сталей конечной структурой будет грубая смесь феррита и перлита; у заэвтектоидных – смесь перлита и цементита.

Отпуск – нагрев ниже точки A_1 и медленное охлаждение; его применяют как сопутствующую операцию после закалки для получения более устойчивых структур. Высокий отпуск (нагрев до температуры 700 °С) применяют для повышения пластичности и обрабатываемости при небольшом снижении прочности закаленной стали; низкий отпуск (нагрев до температуры 250 °С) применяют для повышения вязкости закаленной стали при сохранении прочности.

Температурный интервал при горячей обработке давлением находится ниже линии солидуса на 100...150 °С (верхний предел) и выше линии критических точек A_3 на 25...50 °С (нижний предел).

Температуру плавления определяют по линии ликвидуса; температура заливки должна быть выше этой линии. При понижении температуры в аустените происходят превращения, связанные с уменьшением растворимости углерода в Fe_γ и с фазовым переходом $Fe_\gamma \Rightarrow Fe_\alpha$ (рис. 2.13 и 2.14).

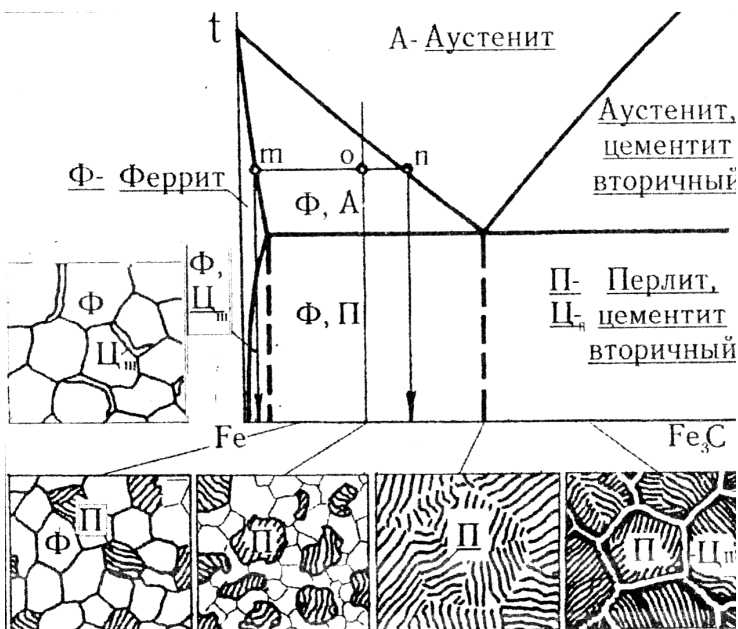


Рис. 2.13. Фрагмент диаграммы состояния и схема структур сталей

При содержании углерода в стали до 0,8 % превращение $Fe_{\gamma} \Rightarrow Fe_{\alpha}$ начинается на линии GS.

В сплавах, содержащих более 0,8 % углерода, превращение аустенита начинается на линии ES с выделения по границам аустенитных зерен избыточного вторичного цементита Ц_{II} (см. рис. 2.13). Температурные точки, соответствующие превращениям на линии ES, обозначают A_m . При уменьшении количества углерода в аустените до 0,8 при 723 °С процесс распада аустенита продолжается с одновременным выделением цементита и превращением аустенита в феррит. Распад аустенита при температуре 723 °С, обозначаемой A_1 , с одновременным выделением феррита и цементита называют эвтектоидным, а образующуюся эвтектоидную смесь – перлитом. Перлит бывает пластичным и зернистым. Механические свойства перлита зависят от дисперсности частичек цементита (σ_b = до 820 МПа, δ до 15 %, НВ до 2000 МПа).

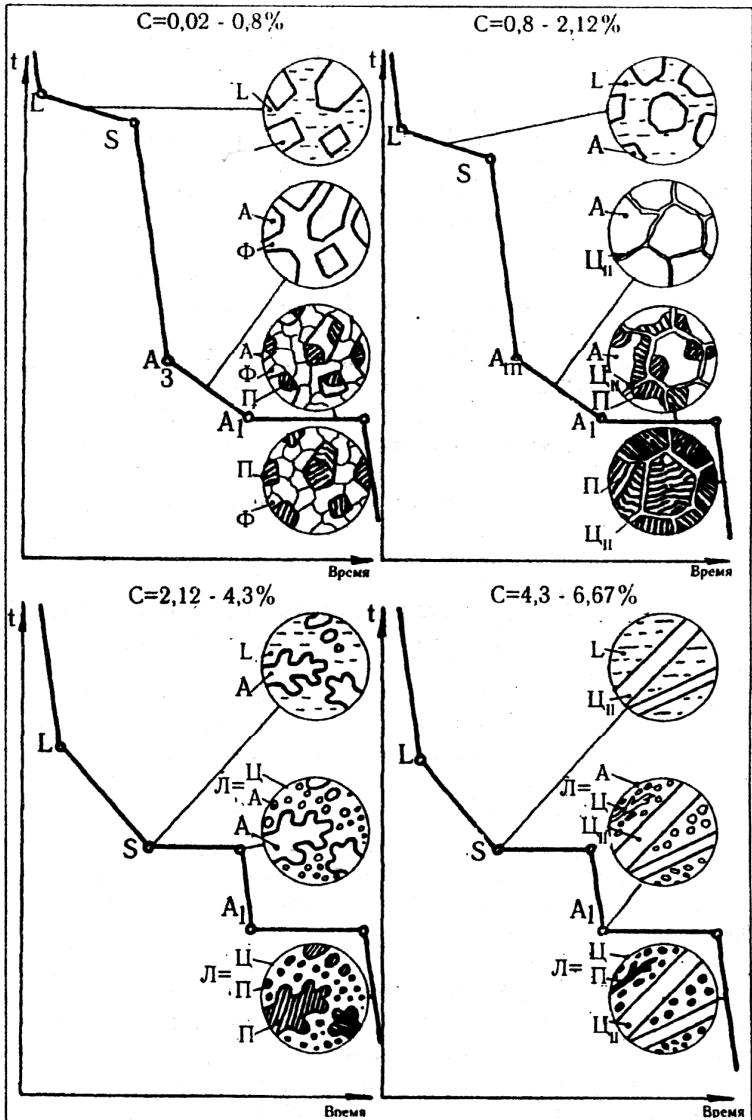


Рис. 2.14. Характерные линии охлаждения железисто-углеродистых сплавов и схемы формирования структуры

Растворимость углерода в феррите при охлаждении до 20 °С уменьшается с 0,02 до 0,006 %. В результате на границах зерен феррита выделяются прослойки цементита, называемого третичным цементитом Ц_{III}.

Сплавы с содержанием углерода С более 2,12 % – чугуны при быстром охлаждении кристаллизуются с образованием карбидной эвтектики.

В *доэвтектических* чугунах (2,12 < С < 4,3 %) при охлаждении ниже температуры ликвидуса – L (линия AC) кристаллизация начинается с выделения аустенита (см. рис. 2.14). Вследствие кристаллизации аустенита расплав обогащается углеродом до 4,3 %.

В *заэвтектических* чугунах (4,3 < С < 6,67 %) избыточной фазой при кристаллизации по линии ликвидус – CD является цементит. Выделившиеся из жидкости крупные кристаллы цементита называются первичным цементитом – Ц_I.

При температуре солидуса $S = 1130$ °С кристаллизация жидкой фазы, содержащей 4,3 % углерода, происходит при одновременном выделении из нее кристаллов аустенита, содержащего 2,12 % углерода, и цементита с содержанием углерода 6,67 % (точка F). Образующаяся эвтектика называется ледебурит. В процессе охлаждения при температуре 730 °С (линия PSK, температура A₁) происходит эвтектоидное превращение аустенита в перлит. Таким образом, при температуре 20 °С конечная структура – ледебурит представляет собой смесь кристаллов цементита и перлита. Вследствие этого ледебурит отличается высокой твердостью (HB = 7000 МПа) и хрупкостью.

Диаграмма состояния позволяет определить химический состав фаз сплава и соотношение их количества при заданной температуре и концентрации компонентов. Для этого через заданную точку O (см. рис. 2.13) проводим горизонталь до пересечения с линиями диаграммы, ограничивающими область существования соответствующих данной области диаграммы фаз сплава. Опустив перпендикуляры из полученных точек *m* и *n* на ось концентрации компонентов, определим химический состав фаз. В нашем случае при температуре 800 °С структура сплава, как видно из диаграммы, состоит из феррита и аустенита. В феррите содержится 0,01 % углерода, в аустените – 0,54 %. Соотношение массы аустенита и феррита определяется по соотношению длин отрезков, на которых линия сплава делит проведенную через точку O горизонталь:

$$\frac{Q_{\text{аустенита}}}{Q_{\text{феррита}}} = \frac{m_o}{o_n}.$$

Из диаграммы видно, что по мере охлаждения доля отрезка *on* увеличивается, т. е. увеличивается количество выделившегося феррита.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Нерудные зернистые материалы

Заполнители – природные или искусственные материалы определенного зернового состава, которые в рационально составленной смеси с раствором вяжущего образуют бетон.

Заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и, следовательно, позволяют резко сократить расход цемента или других вяжущих, являющихся наиболее дорогой и дефицитной составной частью бетона.

Цементный камень при твердении претерпевает усадочные деформации. Усадка его достигает 2 мм/м. Из-за неравномерности усадочных деформаций возникают внутренние напряжения и трещины, которые снижают прочность и долговечность цементного камня. Заполнитель создает в бетоне жесткий скелет, воспринимает усадочные напряжения и уменьшает усадку примерно в 10 раз по сравнению с усадкой цементного камня.

Жесткий каркас из высокопрочного заполнителя увеличивает прочность и модуль упругости бетона (т.е. уменьшает деформации конструкций под нагрузкой).

Легкие пористые заполнители уменьшают среднюю плотность бетона и его теплопроводность и, следовательно, делают возможным применение бетона для ограждающих конструкций.

Специальные особо тяжелые заполнители делают бетон надежной защитой от радиоактивного воздействия.

По величине зерен заполнители подразделяют на мелкие и крупные.

В качестве мелкого заполнителя для приготовления тяжелого бетона и раствора применяют песок, который представляет собой

рыхлую смесь зерен крупностью 0,14...5,0 мм, образовавшуюся в результате естественного разрушения твердых горных пород. Природные пески в зависимости от условий залегания могут быть речные, морские и горные (овражные). Речные и морские пески имеют округлую форму зерен, горные пески содержат остроугольные зерна, что обеспечивает их лучшее сцепление с бетоном. Однако горные пески обычно больше загрязнены вредными примесями, чем речные и морские. Искусственные тяжелые пески получают дроблением твердых и плотных горных пород. Форма зерен дробленых песков остроугольная, а поверхность шероховатая. Дробленные пески имеют высокую стоимость и поэтому их применяют для обогащения мелкого природного песка, используемого в производстве высокопрочных бетонов.

Для приготовления тяжелого бетона в качестве крупного заполнителя применяют щебень и гравий.

Щебень – рыхлый материал, получаемый путем дробления крупных кусков различных твердых горных пород. Смеси зерен щебня различных размеров подвергают рассеву на отдельные фракции. Отсеянные частицы размером не менее 3 мм используют в качестве песка. Зерна щебня имеют остроугольную форму, поверхность их шероховатая, поэтому они хорошо сцепляются с цементно-песчаным раствором.

Гравий – рыхлый материал, образовавшийся в результате естественного разрушения (выветривания) твердых горных пород и состоящий из зерен округлой формы. Гравий может быть горным (овражным), речным и морским. Горный гравий имеет шероховатые поверхности и содержит обычно примеси песка, глины и органических веществ. Речной и морской гравий чище горного, но зерна его имеют гладкую поверхность, что ухудшает сцепление с цементно-песчаным раствором.

Для оценки качества крупного заполнителя, предназначенного для изготовления тяжелого бетона, в лаборатории его подвергают испытанию, определяя истинную, среднюю и насыпную плотность, пустотность, влажность, водопоглощение, содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц и органических примесей, зерновой состав, содержание пластинчатых и игловатых зерен, дробимость при сжатии в цилиндре; кроме того, при технической необходимости и наличии в лаборатории соответствующего оборудо-

дования определяют прочность исходной горной породы, ее истираемость, сопротивление удару и морозостойкость.

Истинную плотность для песка определяют в пикнометре емкостью 100 мл с риской на шейке. От средней пробы песка берут навеску 30...40 г и просеивают через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм. Прошедший через сито песок переносят в бюкс или фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$. Затем бюкс с песком охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или над безводным хлористым кальцием. Из высушенного песка отвешивают две навески по 10 г каждая, всыпают их в два чистых высушенных и предварительно взвешенных пикнометра, после чего каждый пикнометр с песком взвешивают. Затем оба пикнометра с навесками заливают на 2/3 их объема дистиллированной водой, перемешивают содержимое и ставят каждый пикнометр в наклонном положении на песчаную водяную или вакуумную баню. Содержимое пикнометра кипятят в течение 15–20 мин для удаления пузырьков воздуха. После этого его обтирают, охлаждают до температуры помещения, доливают до метки дистиллированной водой и взвешивают. Затем пикнометр освобождают от содержимого, промывают, наполняют до метки дистиллированной водой и снова взвешивают.

Истинную плотность вычисляют с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$:

$$\rho_n = \frac{(m - m_1) \rho_v}{(m - m_1 + m_2 - m_3)},$$

где m – масса пикнометра с песком, г; m_1 – то же пустого, г; m_2 – то же с дистиллированной водой, г; m_3 – то же с песком и дистиллированной водой после удаления пузырьков воздуха, г; ρ_v – плотность воды, равная 1 г/см^3 .

Опыт считают законченным, если расхождение между двумя результатами не превысит $0,02 \text{ г/см}^3$. При больших расхождениях истинную плотность песка определяют вторично. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение плотности обеих навесок.

Для определения истинной плотности щебня (гравия) отбирают среднюю пробу, масса которой должна составлять при наибольшей крупности зерен 10 мм – 0,5 кг; 20 мм – 1 кг; 40 мм – 2,5 кг и 70 мм – 5 кг. Зерна отобранной пробы очищают щеткой от

грязи и пыли, затем дробят до зерен размером 5 мм и сокращают квартованием до 150 г, подвергая повторному измельчению до зерен размером 1,25 мм. Эту пробу сокращают до массы 30 г, растирают в чугунной или фарфоровой ступке, насыпают в бюкс и высушивают в сушильном шкафу при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы, после чего охлаждают в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или безводным хлористым кальцием. В эксикаторе пробу хранят до момента испытания.

Испытанию подвергают две навески по 10 г каждая, отвешенные на аналитических весах. Каждую навеску высыпают в чистый высушенный пикнометр и наливают в него дистиллированную воду. Испытание ведут согласно методике, изложенной выше. Истинную плотность зерен щебня (гравия) вычисляют как среднее арифметическое из двух определений.

3.1.2. Насыпная плотность

Насыпную плотность песка необходимо знать для расчета состава бетона, определения пустотности заполнителя, а также для расчетов, связанных с перевозкой, проектированием складов заполнителей и т.д.

Для определения насыпной плотности песка в сухом состоянии среднюю пробу песка массой около 5 кг высушивают в сушильном шкафу при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы и просеивают через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм. Затем охлажденный песок всыпают металлическим совком с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр вместимостью 1 л. Когда цилиндр заполнится песком, с некоторым избытком в виде конуса, избыток осторожно без толчков и встряхиваний удаляют деревянной или металлической линейкой. После этого цилиндр с песком взвешивают и вычисляют насыпную плотность:

$$\rho_n = \frac{(m_1 - m_2)}{V},$$

где m_1 – масса мерного цилиндра с песком, кг; m_2 – то же без песка, кг; V – объем цилиндра, м^3 .

Опыт повторяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию песка. За окончательный результат принимают их среднее арифметическое.

Насыпную плотность крупного заполнителя определяют с помощью мерного цилиндра, объем которого зависит от крупности щебня (гравия). Например, при наибольшей крупности щебня (гравия) 10 мм объем мерного цилиндра должен быть 5 л, при крупности 20 мм – 10 л, 40 мм – 20 л и свыше 40 мм – 50 л. Предназначенный для испытания щебень (гравий) в необходимом количестве высушивают до постоянной массы и охлаждают.

Насыпную плотность щебня (гравия) определяют два раза (при этом каждый раз берут новую порцию) и вычисляют их среднее арифметическое.

Насыпную плотность заполнителя в состоянии естественной влажности определяют так же, как и сухого песка, только среднюю пробу предварительно не высушивают.

3.1.3. Пустотность

Пустотность определяют по предварительно найденным значениям плотности и вычисляют % по объему, с точностью до 0,1 %:

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 \frac{\rho_n}{\rho_m} \right) 100, \quad (3.1)$$

где ρ_n – насыпная плотность песка в сухом состоянии, кг/м³;
 ρ_m – средняя плотность, кг/м³.

Для кварцевого песка в формуле 3.1 взамен средней плотности используется истинная плотность.

3.1.4. Влажность

Для определения влажности песка от его средней пробы берут две навески массой по 500 г, взвешивают с точностью до 1 г и помещают каждую в отдельный плоский сосуд (противень), затем высушивают в сушильном шкафу при температуре (110 ± 5) °С до постоянной массы. В процессе высушивания песок рекомендуется через каждые 30 минут перемешивать металлическим совком. После достижения постоянной массы песок охлаждают и взвешивают. Влажность (% по массе)

$$W = \frac{(m_1 - m_2)100}{m_2}$$

где m_1 – масса пробы влажного заполнителя, кг; m_2 – то же сухого песка, кг.

Влажность вычисляют как среднее арифметическое двух проб.

Для определения влажности щебня (гравия) берут пробу испытываемого заполнителя в определенном количестве в зависимости от его наибольшей крупности. Например, при наибольшей крупности заполнителя до 10, 20, 40 и 70 мм навеска должна составлять соответственно 0,5; 1; 2,5 и 5 кг.

3.1.5. Содержание пылевидных примесей

Пылевидные, илистые и глинистые частицы – вредные примеси; они обволакивают зерна заполнителя и препятствуют сцеплению их с цементным камнем. Кроме того, эти примеси повышают водопотребность бетонной смеси и приводят к снижению прочности и морозостойкости бетона.

Суммарное содержание пылевидных, глинистых и илистых частиц (примесей) определяют методом отмучивания, сущность которого состоит в том, что указанные частицы (размером менее 0,05 мм), будучи взмучены вместе с песком в воде, осаждаются значительно медленнее зерен песка и благодаря этому легко отделяются от него.

Данное испытание выполняют следующим образом. Из пробы песка, высушенного до постоянной массы и просеянного сквозь сито с отверстиями диаметром 5 мм, отвешивают 1000 г, высыпают в сосуд для отмучивания и заливают водой с таким расчетом, чтобы высота слоя над песком была около 200 мм. Песок выдерживают в воде около 2 ч, периодически помешивая его стеклянной палочкой. По истечении 2 ч содержимое энергично перемешивают и оставляют на 2 мин в покое, затем сливают мутную воду через два нижних сливных отверстия, оставляя над песком слой воды 30 мм. После этого доливают чистую воду до первоначального уровня, содержимое сосуда энергично перемешивают, оставляя в покое на 2 мин, и вновь сливают воду, как описывалось ранее. Песок промывают до тех пор, пока сливаемая вода не станет прозрачной.

Промытую пробу песка высушивают до постоянной массы и вычисляют суммарное содержание в нем пылевидных, глинистых и илистых частиц с точностью до 0,1 %:

$$\text{Пр} = \frac{(m_1 - m_2)100}{m_1} \quad (3.2)$$

где m_1 – масса навески песка до отмучивания, кг; m_2 – то же после отмучивания, кг.

Испытания проводят дважды и за окончательный результат принимают их среднее арифметическое.

Для определения пылевидных примесей в щебне (гравии) пробу заполнителя высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы. От сухой пробы берут навеску 5 кг при наибольшей крупности зерен щебня (гравия) 40 мм и 10 кг при наибольшей крупности 70 мм. Отобранную пробу щебня (гравия) помещают в сосуд для отмучивания, который имеет несколько большие размеры, чем сосуд для отмучивания песка. Высота сосуда 350 мм, внутренний диаметр 230 мм. Пробу заливают водой до верхнего сливного отверстия несколько выше уровня пробы и оставляют в таком состоянии до полного размокания глинистой пленки на зернах щебня (гравия) или комков глины, если они имеются в пробе. Затем в сосуд с щебнем (гравием) доливают воду в таком количестве, чтобы высота слоя над пробой была не менее 200 мм, энергично перемешивают содержимое сосуда деревянной мешалкой и оставляют в покое на 2 мин. После этого через два нижних отверстия сосуда сливают полученную при промывании щебня (гравия) суспензию с таким расчетом, чтобы над пробой оставался слой суспензии не менее 30 мм. Затем щебень (гравий) вновь заливают водой и испытание повторяют до тех пор, пока после промывки вода не будет прозрачной. Закончив промывку, пробу высушивают до постоянной массы.

Содержание в щебне (гравии) отмучиваемых пылевидных, илистых и глинистых частиц вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле (3.2) как среднее арифметическое двух определений.

В щебне из изверженных и метаморфических горных пород, предназначенном для бетонов, содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц, определяемых отмучиванием, не должно превышать 1 %, а в щебне из осадочных горных пород марок до 400 и

от 400 до 1200 содержание этих частиц не должно превышать соответственно 3 и 2 %.

3.1.6. Содержание органических примесей

Органические примеси (гумусовые и др.), содержащиеся в песке, оказывают отрицательное воздействие на качество бетона, т.к. выделяют органические кислоты, которые разрушают цементный камень и тем самым снижают прочность бетона.

Степень загрязнения песка органическими примесями определяют методом окрашивания (колориметрическая проба). Для испытания берут навеску песка в состоянии естественной влажности массой 250 г. Песок насыпают при легком постукивании в стеклянный мерный цилиндр вместимостью 250 мл до отметки 130 мл и заливают 3 %-ным раствором едкого натра (NaOH) до отметки 200 мл. После энергичного взбалтывания содержимое цилиндра оставляют в покое на 24 ч и по истечении этого срока сравнивают цвет раствора над песком с цветом эталона. Эталон готовят следующим образом: составляют 2 %-ный раствор танина в 1%-ом растворе этилового спирта, полученный раствор берут в количестве 5 мл на 195 мл 3 %-ного раствора едкого натра. Полученную смесь наливают в мерный цилиндр вместимостью 250 мл, взбалтывают и оставляют в покое на 24 ч. Эталон в свежеприготовленном виде имеет цвет крепкого чая.

Жидкость над песком может быть не окрашена или цвет ее не темнее эталона. Такой песок будет пригоден для приготовления бетона. В том случае, когда окраска жидкости оказалась значительно темнее эталона, содержимое мерного цилиндра подогревают в течение 2...3 ч на водяной бане при температуре 60...70 °С и вновь сравнивают цвет жидкости с эталоном. Если же цвет жидкости останется светлее эталона, значит, количество органических веществ не превышает допустимого значения. При цвете жидкости над песком темнее цвета эталона необходимо выполнить специальное исследование с целью установления пригодности песка для приготовления бетона.

При испытании крупного заполнителя используют фракции гравия с наибольшей крупностью зерен 20 мм. Для испытания берут среднюю пробу этой фракции в воздушно-сухом состоянии массой 1 кг и просеивают сквозь сито с диаметром отверстий

20 мм. Прошедшим сквозь сито гравием наполняют мерный цилиндр вместимостью 500 мл до уровня 130 мл, после чего заливают в цилиндр 3 %-ный раствор едкого натра до деления 200 мл. В остальном методика определения та же, что и при испытании песка. Цвет раствора едкого натра при обработке гравия не должен быть темнее эталона.

3.1.7. Зерновой состав

Зерновой (гранулометрический) состав заполнителя имеет большое значение для получения тяжелого бетона заданной марки при минимальном расходе цемента. В бетоне песок служит для заполнения пустот между зёрнами крупного заполнителя. В то же время все пустоты между зёрнами песка должны быть заполнены цементным тестом. Кроме того, этим же тестом должны быть покрыты и поверхности всех частиц. С целью уменьшения расхода цементного теста следует применять пески с малой пустотностью и наименьшей суммарной поверхностью частиц. Крупный песок имеет небольшую поверхность зёрен, но значительную пустотность. Мелкий же, наоборот, обладает меньшей пустотностью, но очень большой суммарной поверхностью зёрен. Поэтому лучшими являются крупные пески, содержащие оптимальное количество средних и мелких частиц. Применение таких песков обеспечивает получение бетона плотной структуры при наименьшем расходе цемента.

Зерновой состав песка характеризуется процентным содержанием в нем зёрен различного размера. Для определения зернового состава песка применяют ситовый анализ. Среднюю пробу песка массой 2 кг высушивают, просеивают сквозь сита с округлыми отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Полученные на ситах остатки взвешивают и определяют с точностью до 0,1 % содержание в песке зёрен крупностью 5...10 мм (G_{p_5}) и выше 10 мм ($G_{p_{10}}$):

$$G_{p_5} = \frac{m_5}{m} 100; \quad G_{p_{10}} = \frac{m_{10}}{m} 100,$$

где m – масса пробы г; m_5 и m_{10} – остатки на ситах с круглыми отверстиями, равными соответственно 5 и 10 мм, г.

Из пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску 1000 г и просеивают ее ручным

или механическим способом через комплект сит, последовательно расположенных по мере уменьшения размеров отверстий в них (сначала идут сита с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм, ниже – сита с сетками, имеющими квадратные отверстия размером 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм). Просеивание считается законченным, если через сита на чистый лист бумаги за 1 мин проходит не более 0,1 % зерен песка от общей массы просеиваемой навески.

Остатки песка на каждом сите взвешивают и вычисляют частные остатки на каждом сите с точностью до 0,1 %:

$$a_i = \frac{m_i \cdot 100}{m},$$

где a_i – частный остаток на сите, %; m_i – масса остатка на данном сите, г; m – масса просеиваемой навески, равная 1000 г.

Затем с точностью до 0,1 % определяют полный остаток как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите:

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i,$$

где $a_{2,5}, \dots, a_i$ – частные остатки на ситах с большим размером отверстий, начиная с сита, имеющего размер отверстий 2,5 мм, %; a_i – частный остаток на данном сите, %.

Для оценки зернового состава песка и его пригодности для приготовления бетона результаты просеивания (по полным остаткам) наносят на график (рис. 3.1). По оси абсцисс в определенном масштабе откладывают размеры отверстий на ситах: 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 и 5, мм, а по оси ординат – значения полных остатков на соответствующих ситах, %. Полученные точки соединяют ломаной линией. Если кривая, характеризующая зерновой состав испытуемого песка, располагается в заштрихованной части графика, то такой песок признают годным для приготовления бетона. Если кривая располагается выше заштрихованной части, то песок считается мелким, а если ниже – крупным. Кроме того, в песке для бетонов и растворов не допускается наличие зерен размером более 10 мм; зерен размером от 5 до 10 мм не должно быть более 5 % по массе; количество мелких частиц, прошедших через сито № 0,14, не должно превышать 10 %.

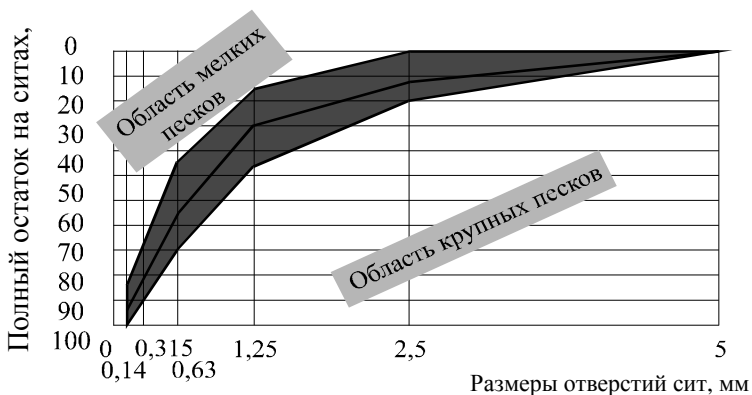


Рис. 3.1. График зернового состава песка

Зерновой состав песка характеризуется также модулем крупности, который вычисляют с точностью до 0,1 %:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100,$$

где $A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,14}$ – полные остатки на ситах, %.

Пески для строительных работ (ГОСТ 8735–88) в зависимости от зернового состава подразделяют на следующие группы: крупные, средние, мелкие и очень мелкие. Для каждой группы песков значения M_k и полный остаток на сите с сеткой № 0,63 должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Классификация песков по зерновому составу

| Группа песка | M_k | Полный остаток на сите № 0,63, % по массе |
|--------------|-----------|---|
| Крупный | Свыше 2,5 | Свыше 45 |
| Средний | 2,0...2,5 | 30...45 |
| Мелкий | 1,5...2,0 | 10...30 |
| Очень мелкий | 1,0...1,5 | До 10 |

При определении зернового состава фракционированных песков результаты испытания записывают только в табличной форме. Модуль крупности в этом случае не вычисляют.

После отсева пробы на наборе стандартных сит рассчитывают частные и полные остатки на них в процентах, а также вычисляют модуль крупности песка. Результаты заносят в таблицу (форма табл. 3,2) и строят график зернового состава песка.

Форма таблицы 3.2

Гранулометрический состав песка

| Остатки | Размер отверстий сит, мм | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|-----|------|------|-------|------|--------|
| | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | поддон |
| Частные остатки, г | | | | | | | |
| Частные остатки, % | | | | | | | |
| Полные остатки, % | | | | | | | |

Зерновой состав щебня или гравия в значительной мере влияет на качество приготовленного на нем бетона. При выборе зернового состава крупного заполнителя для бетона необходимо исходить из основного требования: получить наименьший объем пустот в крупном заполнителе, а следовательно, наименьший расход цемента в бетоне заданной марки.

В зависимости от размера зерен щебень (гравий) подразделяют на следующие фракции: 5...10; 10...20; 20...40 и 40...70 мм. В каждой фракции гравия или щебня должны быть зерна всех размеров от наибольшего до наименьшего для данной фракции. Зерновой состав загрязненного фракционированного щебня (гравия) определяют просеиванием с одновременной промывкой водой пробы заполнителя по методике ГОСТ 8267–82. В условиях учебной лаборатории при испытании щебня (гравия), зерна которого не имеют примесей глины и их поверхности не загрязнены ею, зерновой состав рекомендуется определять без одновременного промывания водой по приведенной ниже методике. В данном случае крупный заполнитель высушивают до постоянной массы и берут для испытания пробу в количестве 5, 10, 20, 30 и 50 кг при наибольшей крупности его соответственно 10, 20, 40, 70 и свыше 70 мм. Щебень (гравий) просеивают через набор сит, собранных в колонку, и определяют частные и полные остатки на каждом сите в процентах от массы рассеиваемой пробы.

Далее вычисляют остатки на каждом сите, % к суммарной массе просеянной пробы:

$$a_i = \frac{m_i \cdot 100}{\Sigma m},$$

где m_i – масса остатка на данном сите, кг; Σm – сумма частных остатков на всех ситах, кг.

По известным значениям частных остатков рассчитывают полные остатки, %, на каждом сите:

$$A_i = a_{70} + \dots + a_i,$$

где $a_{70} + \dots + a_i$ – частные остатки на всех ситах с большими размерами отверстий плюс остаток на данном сите, %.

Затем устанавливают наибольшую $D_{\text{наиб}}$ и наименьшую $D_{\text{наим}}$ крупность зерен щебня (гравия). За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстия того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5 %, а за наименьшую крупность – размер отверстия нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 95 %. Кроме того, вычисляют значения $0,5(D_{\text{наим}} + D_{\text{наиб}})$ и $1,25D_{\text{наиб}}$. Зерновой состав каждой фракции или смеси фракции должен находиться в пределах, указанных в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Зерновой состав щебня (гравия)

| Размер контрольных сит | $D_{\text{наим}}$ для фракций с наименьшим размером зерен, мм | | $0,5(D_{\text{наим}} + D_{\text{наиб}})$ | | $D_{\text{наиб}}$ | $1,25D_{\text{наиб}}$ |
|-------------------------|---|------------|--|---------------|-------------------|-----------------------|
| | 5(3) | 10 и более | Одной фракции | Смеси фракции | | |
| Полный остаток на ситах | 95...100 | 90...100 | 40...80 | 50...70 | 0...10 | 0 |

Качество зернового состава щебня (гравия) оценивают значением полных остатков в процентах на ситах с контрольными отверстиями $D_{\text{наим}}$, $0,5(D_{\text{наиб}} + D_{\text{наим}})$, $D_{\text{наиб}}$ и $1,25D_{\text{наиб}}$. Откладывая на графике (рис. 3.2) по оси ординат эти значения, получают четыре точки, которые соединяют ломаной линией. Щебень (гравий) признают пригодным по зерновому составу для приготовления бетона,

если кривая его зернового состава располагается в заштрихованной части графика.

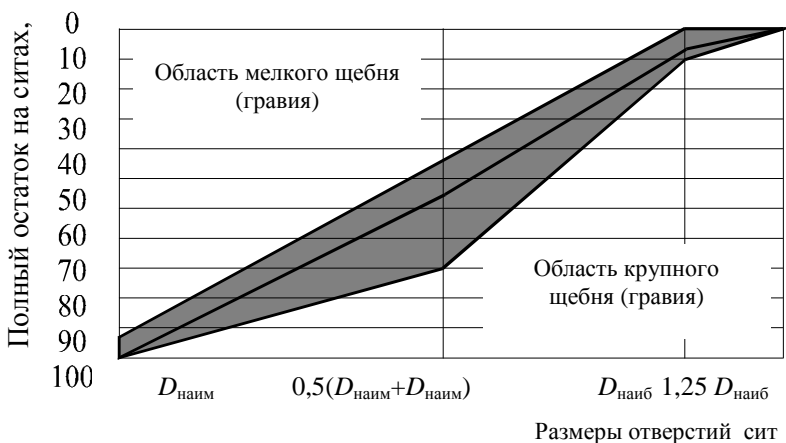


Рис. 3.2. График зернового состава щебня (гравия)

Щебень и гравий не должны иметь на зернах примесей глины и пыли. При этом условии можно отказаться от промывания заполнителя водой. Пробу щебня (гравия) с наибольшей крупностью зерен 40 и 70 мм, высушенную до постоянной массы, просеивают на наборе стандартных сит, после чего рассчитывают частные и полные остатки на ситах в процентах. Затем наносят на график полные остатки на ситах с размерами отверстий $D_{\text{наим}}$, $0,5(D_{\text{наим}} + D_{\text{наиб}})$, $D_{\text{наиб}}$ и $1,25D_{\text{наиб}}$, соединяют полученные точки и оценивают пригодность щебня (гравия) для приготовления бетона.

3.1.8. Расчет удельной поверхности песка

Удельную поверхность песка вычисляют по формуле А.С. Ладинского:

$$S = 6,35 k / 1000 (0,5a_5 + a_{2,5} + 2a_{1,25} + 4a_{0,63} + 8a_{0,315} + 16a_{0,14} + 32a_{<0,14})$$

где S – удельная поверхность песка, $\text{м}^2/\text{кг}$; K – коэффициент, равный для крупных песков – 2, для средних – 1,65, для мелких – 1,3; a_i – частные остатки на стандартных ситах, %; $a < 0,14$ – частный остаток на поддоне, %.

3.1.9. Содержание в щебне (гравии) пластинчатых и игловатых зерен

Пластинчатыми (лещадными) считают такие зерна, которые по толщине имеют размер меньше любого наименьшего размера зерна более чем в три раза.

Игловатыми называют зёрна, которые по вытянутой оси имеют размер, превышающий любой наибольший размер зерна более чем в три раза.

Пластинчатые и игловатые зёрна крупного заполнителя нарушают структуру бетона и создают в нем пространства, неравномерно заполненные цементным раствором. Такая структура приводит к появлению микротрещин, которые, в свою очередь, снижают прочность бетона.

Для определения содержания в крупном заполнителе пластинчатых и игловатых зерен рекомендуется использовать остатки на ситах, полученные при определении зернового состава щебня (гравия). При этом от фракции 5...10 мм берут 0,25 кг; 10...20 мм – 1 кг; 20...40 мм – 5 кг; 40...70 мм – 15 кг. Рассыпав отобранный заполнитель на листе чистой белой бумаги или фанере, выбирают визуально из общей массы зёрна пластинчатой и игловатой формы. В сомнительных случаях зёрна измеряют шаблоном или штангенциркулем. Сначала взвешивают пластинчатые и игловатые зёрна, а затем все остальные.

Содержание в каждой фракции пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен вычисляют с точностью до 1 %:

$$Pr = m_1 100 / (m_1 + m_2),$$

где m_1 – масса зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, кг; m_2 – масса остальных зерен, кг.

Содержание зерен пластинчатой формы определяют как среднее арифметическое результатов испытаний каждой фракции.

Щебень по форме зерен подразделяется на три группы в зависимости от содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы; кубовидная форма – содержание указанных зерен до 15 %; улучшенная – до 25 %; обычная – до 35 %.

3.1.10. Дробимость щебня (гравия)

Прочность щебня (гравия) оценивают косвенным показателем дробимости при сжатии в цилиндре. Это испытание крупного заполнителя выполняют следующим образом. Щебень (гравий) фракций 5...10, 10...20 или 20...40 мм просеивают через сита с отверстиями, соответствующими наибольшей $D_{\text{наиб}}$ и наименьшей $D_{\text{наим}}$ крупности испытываемой фракции. Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят до фракции 10...20 и 20...40 мм, которые потом подвергают испытанию. Из остатка на сите с отверстиями размером $D_{\text{наим}}$ отбирают пробу массой не менее 0,5 кг для испытания в цилиндре диаметром 150 мм. Щебень (гравий) испытывают в сухом или насыщенном водой состоянии, для чего заполнитель высушивают до постоянной массы или погружают в воду на 2 ч. После насыщения в воде его обтирают мягкой влажной тканью.

Для определения марки щебня (гравия) по дробимости пробу помещают в цилиндр со съёмным дном диаметром 150 мм; для текущего контроля качества щебня (гравия) фракций 5...10 и 10...20 мм используют цилиндр диаметром 75 мм. Для испытания щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм из подготовленной пробы берут навеску 0,4 кг, а при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – 3 кг. Навеску щебня (гравия) высыпают с высоты 5 см в соответствующий цилиндр, разравнивают верхний уровень материала так, чтобы он примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем вставляют в цилиндр плунжер, при этом его плита должна быть на уровне верхнего края цилиндра. В случае если верх плиты не совпадает с краем цилиндра, удаляют и добавляют несколько зерен испытываемого заполнителя (масса этих зерен должна быть учтена в расчете). После этого цилиндр устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса. Повышая усилие пресса со скоростью 1–2 кН/с, доводят его при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН, а при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – до 200 кН. После сжатия испытываемую пробу заполнителя высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем раздробленный в цилиндре щебень (гравий) просеивают через сито, диаметр отверстий которого зависит от размера испытываемой фракции. Для фракции 5...10 мм размер отверстия сита – 1,25 мм, для фракции 10...20 мм – 2,5 мм и для фракции 20...40 мм – 5 мм.

В случае, когда заполнитель подвергают испытанию в насыщенном водой состоянии, пробу на сите промывают водой и уда-

ляют поверхностную влагу с зерен с помощью мягкой влажной ткани.

Остаток щебня (гравия) после просеивания на сите взвешивают и определяют показатель дробимости с точностью до 1 %:

$$Др = (m_1 - m_2) 100 / m,$$

где m_1 – масса навески щебня (гравия) до испытания, кг; m_2 – остаток на сите после просеивания раздробленного в цилиндре щебня (гравия), кг.

Испытания проводят два раза и показатель дробимости щебня (гравия) вычисляют как среднее арифметическое двух определенных. При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух и более смежных фракций, показатель дробимости вычисляют как средний результат испытаний отдельных составляющих фракций. В зависимости от показателя дробимости гравий подразделяют на следующие марки: Др8 (при потере в массе до 8 %), Др12 (при потере в массе от 8 до 12 %), Др16 (при потере в массе от 13 до 16 %) и Др24 (при потере в массе от 16 до 24 %).

Приведенным выше данным для марок гравия по дробимости в цилиндре соответствуют следующие ориентировочные значения интервалов прочности при сжатии горных пород, слагающих зерна гравия: Др8 – свыше 100 МПа; Др12 – 80...100 МПа; Др24 – 40...60 МПа.

Марки щебня по прочности в зависимости от потери по массе (%) при определении дробимости щебня приведены в ГОСТ 8267–82.

3.2. Древесина

Древесные материалы и изделия полностью или преимущественно состоят из древесины.

Достоинства натуральной древесины – ее относительно высокая прочность, небольшая средняя плотность, малая тепло- и звукопроводность, легкая обрабатываемость и способность соединяться при помощи шпонок, гвоздей, болтов, клеев, врубок. Однако древесина обладает и рядом недостатков, к числу основных относятся: изменяемость размеров при колебаниях влажности, горючесть, подверженность загниванию, анизотропность свойств (свойства неодинаковы в различных направлениях). Качество и долговеч-

ность древесных материалов улучшаются при условии их пропитки и склеивания синтетическими смолами.

Исходя из совокупности положительных свойств и распространенности, древесина широко используется для изготовления пиломатериалов, деревянных несущих конструкций, отделочных материалов и др.

3.2.1. Влажность

Влажность – степень насыщения древесины водой, выраженная в % по отношению к массе сухой древесины. Влага древесины делится на капиллярную и гигроскопическую. Капиллярная (свободная) влага находится в полостях клеток и межклеточном пространстве, гигроскопическая – в стенках клеток.

Кроме того, имеется химически связанная влага, входящая в состав химических веществ древесины.

Основную массу влаги в древесине растущего дерева составляет влажность капиллярная и гигроскопическая, химически связанной воды очень немного.

Состояние древесины, при котором отмечается предельное содержание в ней гигроскопической влаги и отсутствие капиллярной, называют *точкой насыщения волокон или пределом гигроскопичности*.

Для различных пород древесины этот показатель составляет от 25 до 35 %, в среднем принимается значение 30 %. Различают следующие влажностные состояния древесины:

- мокрая (влажность более 100 %);
- свежесрубленная (влажность 50...100 %);
- воздушно-сухая (влажность 15...20 %);
- комнатно-сухая (влажность 8...13 %);
- абсолютно сухая (влажность менее 8 %).

Свободная вода не вызывает разбухания древесины, а только увеличивает ее плотность. Свободную воду можно удалить механическим путем (прессованием). При изменении содержания гигроскопической воды происходит разбухание и усушка.

Для получения сравнимых данных о физико-механических свойствах от влажности показателях древесины, введено понятие *стандартная влажность* древесины. Ее значение установлено равным 12 %.

Изменение влажности в интервале от 0 % до точки насыщения волокон вызывает изменение объема древесины, что ведет к усушке, разбуханию, короблению древесины в строительных конструкциях, а также появлению трещин.

Влажная древесина отдает влагу окружающему воздуху, сухая поглощает влагу из воздуха. Так как влажность воздуха непостоянна, то происходят колебания влажности древесины, до тех пор пока не установится состояние равновесия и древесина не станет воздушно-сухой.

При изменении влажности изменяются и другие свойства древесины: прочность и средняя плотность. При увеличении влажности средняя плотность повышается, а прочность снижается.

Определение влажности древесины методом высушивания.

Этот метод является наиболее распространенным и позволяет определить влажность древесины с точностью до 0,1%. Для испытания берут образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм (можно использовать образцы другой формы или пробы из образцов, подвергшихся физико-механическим испытаниям), очищают их от заусениц и опилок, помещают в предварительно пронумерованные и взвешенные стеклянные бюксы с притертыми крышками и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Затем образцы в бюксах и снятые с них крышки помещают в сушильный шкаф и высушивают при (103 ± 2) °С до постоянной массы. Первое взвешивание производят через 6–10 ч, последующие – через каждые 2 ч. Высушивание древесины заканчивают, когда разница между двумя последними взвешиваниями не превысит 0,002 г (образцы древесины смолистых древесных пород не следует выдерживать в сушильном шкафу более 20 ч). Перед каждым взвешиванием бюксу закрывают крышкой, вынимают из сушильного шкафа, помещают в эксикатор с безводным хлористым кальцием или 94 %-ной серной кислотой и охлаждают до комнатной температуры.

Абсолютную влажность древесины W в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} 100,$$

где m_1 , m_2 , m_3 – массы соответственно пустой бюксы и бюксы с образцом до и после высушивания.

Результаты записывают в таблицу (форма табл. 3.4).

Форма таблицы 3.4

Определение влажности древесины

Порода _____

Температура воздуха _____ °С

Степень насыщенности воздуха _____ %

| Номер образца | Номер бюксы | Масса, г | | | | Влажность W, % |
|---------------|-------------|----------------------|--|---|--------------------------------|----------------|
| | | Пустого бюксы, m_1 | бюксы с образцом до высушивания, m_2 | бюксы с образцом после высушивания, m_3 | испарившейся воды, $m_2 - m_3$ | |
| | | | | | | |

Оценка равновесной влажности по диаграмме Н.Н. Чулицкого. Влажность, которую приобретает древесина, находясь долгое время на воздухе с постоянной температурой, называется равновесной.

Для определения равновесной влажности древесины пользуются диаграммой Н.Н. Чулицкого, где по оси ординат отложена относительная влажность воздуха, по оси абсцисс – температура воздуха, наклонные линии соответствуют равновесной влажности древесины.

При помощи диаграммы равновесную влажность древесины можно определить с точностью до 0,75 %.

Относительная влажность воздуха определяется с помощью психрометров, например, с помощью психрометра, состоящего из двух термометров, один из которых показывает температуру окружающего воздуха, а второй – более низкую температуру. Шарик второго термометра является «смоченным». Он покрыт тканью и опущен в резервуар с водой. Разность температур «сухого» и «влажного» термометров зависит от относительной влажности воздуха, увеличиваясь при ее уменьшении. Это объясняется тем, что при уменьшении влажности воздуха скорость испарения воды из мокрой ткани, покрывающей шарик «смоченного» термометра,

увеличивается, и на испарение воды затрачивается тепло, что приводит к снижению температуры, показываемой «смоченным» термометром. Зная разность температур, показываемых «сухим» и «влажным» термометрами (так называемую «психрометрическую» разность), пользуясь психрометрической таблицей, определяют относительную влажность воздуха, а затем по диаграмме Н.Н. Чулицкого – влажность древесины (рис. 3.3). Пользуются такой диаграммой следующим образом. Пусть, например, требуется определить влажность древесины, хранящейся в помещении, где температура воздуха составляет 20 °С, а относительная влажность 65 %. Устанавливаем по номограмме, около какой наклонной линии располагается точка пересечения линии температуры 20 °С с горизонтальной линией, соответствующей влажности воздуха 65 %. Это пересечение происходит около наклонной линии, соответствующей влажности 12 %.

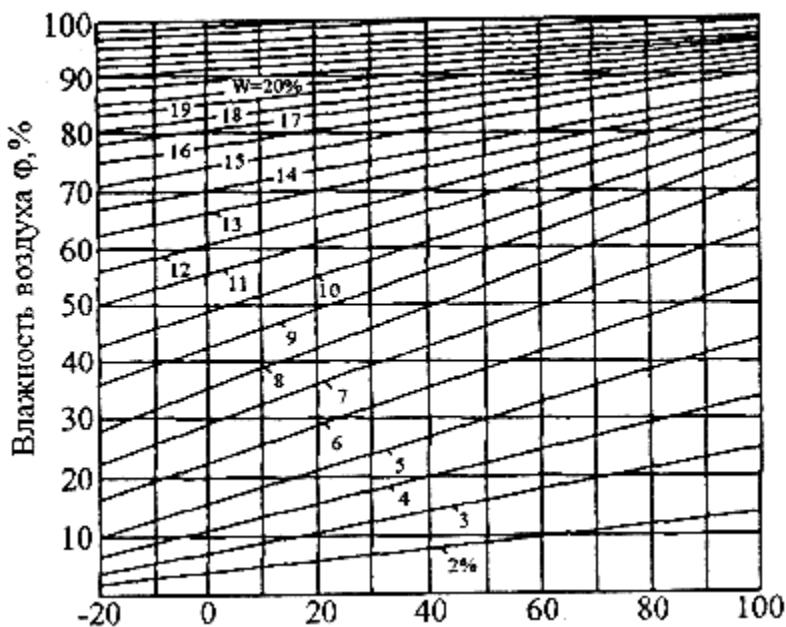


Рис. 3.3. Номограмма Н.Н. Чулицкого для определения влажности древесины

3.2.2. Усушка

Под усушкой древесины понимают уменьшение ее линейных размеров и объема при высыхании. Усушка происходит при испарении связанной влаги, располагающейся в клеточных стенках древесины. Она может быть полной или частичной.

Полная усушка происходит при снижении содержания влаги от предела гигроскопичности до нуля. Предел гигроскопичности соответствует максимальной влажности клеточных стенок при выдерживании древесины в насыщенном влагой воздухе и составляет 30 %.

Для определения полной усушки берут образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Их изготавливают так, чтобы годовые слои на торцах были направлены параллельно одной паре противоположных граней и перпендикулярно к другой. Все поверхности образцов должны быть гладко оструганы. На середине высоты и ширины (толщины) радиальной и тангенциальной поверхностей образцов карандашом проводят линии соответственно перпендикулярно к направлению волокон и вдоль них.

Образцы выдерживают в дистиллированной воде до тех пор, пока они не достигнут постоянных размеров (это устанавливается повторными измерениями через каждые трое суток), т.е. когда изменение размеров в тангенциальном направлении составит не более 0,02 мм. Насыщенные влагой образцы осушают фильтровальной бумагой и измеряют микрометром (по проведенным линиям) с точностью до 0,01 мм в тангенциальном и радиальном направлениях, а также вдоль волокон (рис. 3.4).

Образцы помещают в пронумерованные бюксы с притертыми крышками и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Далее бюксы с образцами (крышку ставят в бюксу на ребро) помещают в сушильный шкаф. Высушивание производят сначала при 50...60 °С в течение трех ч, а затем, постепенно повышая температуру, при (103 ± 2) °С до достижения постоянной массы (разница между двумя последними взвешиваниями не должна превышать 0,002 г). Перед каждым взвешиванием бюксы с образцами охлаждают в эксикаторах с гигроскопическим веществом до комнатной температуры. Сразу после взвешивания проводят те же измерения образцов, что и до высушивания (с той же точностью), в тангенциальном и радиальном направлениях, а также вдоль волокон.

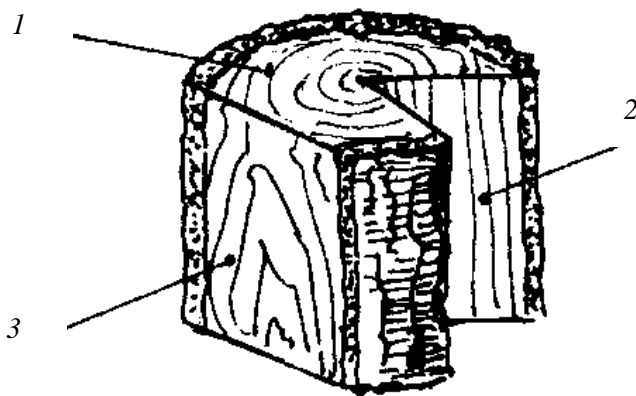


Рис. 3.4. Основные разрезы древесного ствола, применяемые при изучении строения и свойств древесины: 1 – торцевой; 2 – радиальный; 3 – тангенциальный

Полную усушку (V_{\max}) в тангенциальном и радиальном направлениях, вдоль волокон и по объему вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле

$$V_{\max} = \frac{a_{\max} - a_0}{a_{\max}} 100,$$

где a_{\max} – максимальный размер (объем) образца с влажностью, равной пределу насыщения клеточных стенок, и выше его мм (мм^3), a_0 – размер (объем) абсолютно сухого образца, мм (мм^3).

Форма таблицы 3.5

Определение усушки древесины

Порода _____
 Температура воздуха _____ °С
 Степень насыщенности
 воздуха _____ %

| Номер образца | Размеры образца | | | | | | | Усушка (в числителе) и коэффициент усушки (в знаменателе), % | | | | |
|---------------|----------------------------------|--------------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------------|----------------|--|------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|
| | до высушивания | | | | после высушивания | | | | | | | |
| | Начальная влажность древесины, % | тангенциальный, мм | радиальный, мм | вдоль волокон, мм | объем, мм ³ | тангенциальный, мм | радиальный, мм | вдоль волокон, мм | объем, мм ³ | в тангенциальном направлении | в радиальном направлении | вдоль волокон |

Важным показателем, характеризующим способность древесины усыхать, является коэффициент усушки, которым выражается средняя усушка при уменьшении содержания связанной влаги на 1 %. Его определяют в тангенциальном и радиальном направлениях и по объему с точностью до 0,01 % путем деления показателей полной усушки на среднее значение предела насыщения клеточных стенок древесины различных пород, т. е. на 30 %.

3.2.3. Плотность

Средняя плотность древесины по ГОСТ 16483.1–84 определяется отношением ее массы к объему. Это один из важнейших показателей, характеризующих качество древесины и ее физические свойства. Он изменяется в больших пределах и зависит от породы и влажности древесины.

Для определения плотности используют образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм (все поверхности образцов должны быть гладко оструганы). Плотность древесины при влажности в момент испытания (ρ_w) вычисляют по формуле

$$\rho_w = m/abl,$$

где m – масса образца, г; a, b, l – соответственно ширина, толщина и длина образца, см.

Плотность древесины при стандартной влажности (12 %-ной) определяют по формулам :

$$\rho_{12} = \rho_w [1 + 0,01(1 - K_0) (12 - W)], \quad (3.3)$$

где K_0 – коэффициент объемной усушки, % (для древесины березы, бука и лиственницы значение его берут равным 0,6, а для прочих пород – 0,5); W – влажность образца, %;

$$\rho_{12} = \rho_w / K_{12}, \quad (3.4)$$

где ρ_w – плотность древесины при влажности W , равной 5–30 %, кг/м³; K_{12} – коэффициент пересчета (табл. 3.6)

При влажности древесины более 30 % коэффициент пересчета плотности ее для белой акации, бука, граба и лиственницы вычисляют по формуле:

$$K_{12} = (100 + W)/127,$$

а для остальных пород по формуле

$$K_{12} = (100 + W) / 124.$$

Таблица 3.6

Коэффициент пересчета (K_{12}) для определения плотности при стандартной 12 %-ной влажности (W испытуемой древесины ≤ 30 %)

| Влажность, % | K_{12} для пород | | Влажность, % | K_{12} для пород | |
|--------------|--|-----------|--------------|--|-----------|
| | белая акация, береза, бук, граб, лиственница | остальных | | белая акация, береза, бук, граб, лиственница | остальных |
| 5 | 0,980 | 0,972 | 18 | 1,013 | 1,020 |
| 6 | 0,983 | 0,977 | 19 | 1,014 | 1,023 |
| 7 | 0,986 | 0,981 | 20 | 1,016 | 1,026 |
| 8 | 0,989 | 0,985 | 21 | 1,018 | 1,029 |
| 9 | 0,992 | 0,989 | 22 | 1,019 | 1,031 |
| 10 | 0,995 | 0,993 | 23 | 1,020 | 1,034 |
| 11 | 0,997 | 0,996 | 24 | 1,021 | 1,036 |
| 12 | 1,000 | 1,000 | 25 | 1,022 | 1,039 |
| 13 | 1,002 | 1,004 | 26 | 1,023 | 1,041 |
| 14 | 1,005 | 1,007 | 27 | 1,024 | 1,043 |
| 15 | 1,007 | 1,010 | 28 | 1,025 | 1,046 |
| 16 | 1,009 | 1,014 | 29 | 1,025 | 1,048 |
| 17 | 1,011 | 1,017 | 30 | 1,026 | 1,050 |

Полученные результаты представляются в виде таблицы (табл. 3.7).

Определение плотности древесины

Порода _____

Температура воздуха _____ °С

Степень насыщенности воздуха _____ %

| | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------|--------------|--|---|
| Номер образца | Ширина, <i>a</i> , см | Толщина, <i>b</i> , см | Длина, <i>l</i> , см | Масса, г | Влажность, % | Плотность при влажности в момент испытаний, ρ_w , кг/м ³ | Плотность, приведенная к влажности 12%, ρ_{12} , кг/м ³ |
|---------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------|--------------|--|---|

Экспериментальные результаты сравнивают с данными, представленными в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Средние значения плотности древесины некоторых пород, кг/м³

| Порода | Плотность древесины при стандартной влажности (ρ_{12}) | Плотность абсолютно сухой древесины (ρ_0) |
|-----------------|---|--|
| Лиственница | 660 | 630 |
| Сосна | 500 | 470 |
| Ель | 445 | 420 |
| Кедр | 435 | 410 |
| Пихта сибирская | 375 | 350 |
| Акация белая | 800 | 760 |
| Береза | 630 | 600 |
| Бук | 670 | 640 |
| Дуб | 690 | 650 |
| Клен | 690 | 650 |
| Ясень | 680 | 645 |
| Ольха | 520 | 490 |
| Ива | 455 | 430 |
| Осина | 495 | 470 |

3.2.4. Определение содержания поздней древесины

На торцовом разрезе ствола при небольшом увеличении можно заметить значительное количество концентрически расположенных слоев. Каждый такой слой образуется в течение вегетационного периода и соответствует одному году жизни дерева, почему и носит название годового слоя. В зависимости от условий роста годовые слои бывают различной ширины.

Весной образуются тонкостенные клетки поздней древесины (более темные плотные слои).

Ее содержание свыше 20 % указывает на хорошие механические свойства древесины.

Определение производится на стандартном образце размером 2×2×3 см. Содержание поздней древесины устанавливается следующим образом. На торцовой поверхности образца по радиальному направлению на протяжении примерно 2 см отмечают границы целых годовых слоев (рис. 3.5).

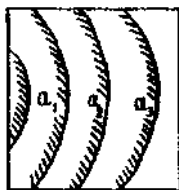


Рис. 3.5. Изображение торцовой поверхности древесины по радиальному направлению

Расстояние l между отмеченными точками измеряют с точностью до 0,5 мм. В каждом годовом слое на отрезке между отмеченными точками измеряют ширину поздней зоны с точностью до 0,1 мм. Для повышения точности отсчетов пользуются лупой. Затем все величины на данном отрезке суммируют. Процент поздней древесины вычисляют по формуле

$$m = \frac{\sum a}{l} \cdot 100\% ,$$

где $\sum a$ – общая ширина поздних зон; l – общая длина годовых слоев.

Оценка прочности при сжатии по содержанию поздней древесины. Прочность при сжатии древесины обычно определяют путем механических испытаний (п. 3.2.5). На практике иногда

необходимо установить прочность по содержанию поздней древесины.

Зависимость предела прочности древесины при сжатии от процентного содержания в ней поздней древесины, МПа, определяют по формулам:

для сосны

$$R_{сж}^{12} = 0,112(6,0m + 300),$$

$$R_{изг}^{12} = 0,112(14m + 560),$$

для дуба

$$R_{сж}^{12} = 0,112(3,2m + 295),$$

$$R_{сж}^{12} = 0,112 (4,3m + 475), \text{ МПа}$$

где R^{12} – прочность древесины при влажности 12 %; m – процентное содержание поздней древесины.

3.2.5. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон древесины

Испытание прочности древесины на сжатие вдоль волокон ГОСТ 16483.10–73 производится на образцах в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Фактические поперечные размеры определяют в их средней части с точностью до 0,1 мм. Образец помещают в приспособление (рис. 3.6), обеспечивающее равномерное приложение сжимающего усилия по всей его торцовой поверхности.

Приспособление с образцом ставят на нижнюю плоскую опору реверсора. Включают привод машины и устанавливают скорость нагружения образца (25000 ± 5000) Н/мин регулятором или перемещением верхней подвижной траверсы со скоростью 4 мм/мин. Испытание продолжают до разрушения образца, что обнаруживается по движению рабочей стрелки силоизмерителя в обратном направлении. Положение контрольной стрелки указывает величину максимальной нагрузки, достигнутой в процессе испытания. Эта нагрузка отсчитывается с точностью до 50 Н. Схема нагружения образца представлена на рис. 3.7.

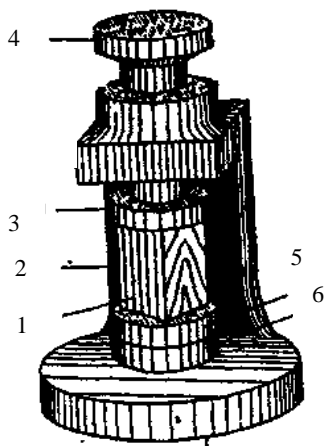


Рис. 3.6. Приспособление для испытания древесины на сжатие вдоль волокон:
 1 – образец; 2 – корпус; 3 – пуансон; 4 – шаровая опора;
 5,6 – съемные опоры

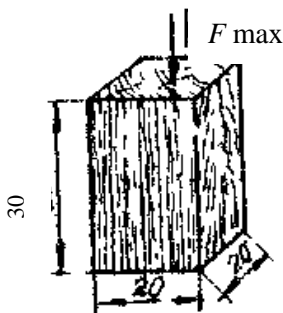


Рис. 3.7. Схема нагружения образца древесины при определении предела прочности при сжатии

После испытания обращают внимание на характер разрушения образца, который зависит от качества и состояния древесины. Образование вкладки разрушения на тангенциальной и радиальной поверхностях под углами соответственно около 60° и 90° к продольной оси соответствует образцам из плотной и сухой древесины, обладающей высокой прочностью. У образцов из рыхлой и влажной

древесины невысокая прочность, поэтому у них чаще всего происходит смятие волокон у торцов.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон $R_{сж}^W$, МПа, определяется по формуле:

$$R_{сж}^W = 0,1 \frac{F_{max}}{ab},$$

где F – максимальное разрушающее усилие, кгс; a b – площадь поперечного сечения образца, см².

Испытания производятся согласно ГОСТ 16483.10–73.

Нормальной равновесной условно считается влажность 12 %, и при определении физических свойств древесины результаты приводятся к этому значению (для проведения сравнительного анализа показателей):

$$R_{сж}^{12} = R_{сж}^W [1 + \alpha(W - 12)],$$

где $R_{сж}^{12}$, $R_{сж}^W$ – предел прочности образцов соответственно при 12 %-ной и фактической (W) влажности в момент испытаний; α – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,04 на 1% влажности.

Результаты определений представляют в виде таблицы (форма табл. 3.8).

Форма таблицы 3.8

Оценка предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон

| Порода древесины | Размеры поперечного сечения, мм | | Площадь поперечного сечения, см ² | Максимальное разрушающее усилие, кгс | Влажность, % | Прочность при сжатии в момент испытания, МПа | Прочность при сжатии в пересчете на стандартную влажность, МПа |
|------------------|---------------------------------|-----|--|--------------------------------------|--------------|--|--|
| | a | b | | | | | |
| | | | | | | | |

Результаты испытаний древесины на сжатие вдоль волокон (табл. 3.8) сравнивают с данными, приведенными в табл. 3.9.

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон (МПа)

| Порода | При влажности, % | |
|-----------------|------------------|------------|
| | 12 | 30 и более |
| Лиственница | 63,0 | 25,0 |
| Сосна | 47,5 | 20,6 |
| Ель | 43,5 | 19,0 |
| Кедр | 41,0 | 18,0 |
| Пихта сибирская | 38,0 | 17,0 |
| Бук | 54,5 | 25,5 |
| Береза | 54,0 | 22,0 |
| Дуб | 56,5 | 30,5 |
| Граб | 59,0 | 26,0 |
| Клен | 58,5 | 27,5 |
| Ясень | 58,0 | 31,0 |
| Ольха | 43,0 | 23,0 |
| Липа | 44,5 | 23,5 |

3.2.6. Предела прочности древесины при статическом изгибе

Древесину широко применяют в конструкциях, работающих на изгиб (балки, настилы, подмости и др.), поэтому значение предела прочности при статическом изгибе весьма велико. Для его определения используют стандартные образцы с сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Образец измеряют по середине длины с точностью до 0,1 мм, определяя ширину (b) по радиальному направлению и высоту (h) по тангентальному направлению (по хорде).

При испытании образец укладывают на две опоры с пролетом между центрами 240 мм (рис. 3.8), чтобы усилия были направлены по касательной к годовым слоям (тангенциальный изгиб).

Передача усилий осуществляется двумя «ножами» по середине образца с расстоянием между ними 80 мм (нагружение в двух точках, рис. 3.8, а) или одним «ножом» по середине образца (нагружение в одной точке, рис. 3.8, б).

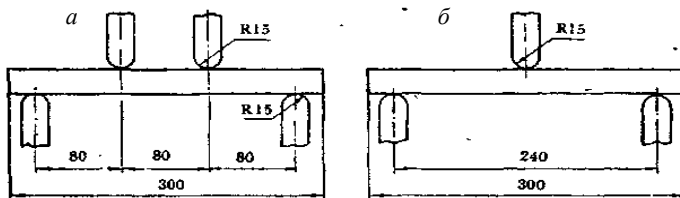


Рис. 3.8. Схема испытания древесины на статический изгиб при нагружении образца:
а – в двух точках; б – в одной точке

Скорость увеличения нагрузки должна быть равномерной и равной 7000 ± 1500 Н/мин при двухточечном нагружении и $5000 + 1500$ Н/мин – при одноточечном. Испытания ведут до разрушения образца и отмечают нагрузку в момент разрушения.

После разрушения образца определяют влажность в соответствии с п. 3.2.1.

Предел прочности при статическом изгибе ($R_{изг}^W$, МПа) находят по формулам:

при нагружении в двух точках

$$R_{изг}^W = \frac{0,1P_{max} \cdot l}{bh^2},$$

при нагружении в одной точке

$$R_{изг}^W = 0,1 \frac{3P_{max} \cdot l}{2bh^2},$$

где P_{max} – максимальная разрушающая нагрузка, кгс; l – расстояние между опорами, см; b и h – ширина и высота образца, см.

Пересчет прочности древесины на стандартную (12 %) влажность, МПа, производят по формуле:

$$R_{изг}^{12} = R_{изг}^W [1 + \alpha(W - 12)],$$

где α – поправочный коэффициент для всех древесных пород, равный 0,04; W – влажность образца в момент испытания, %.

Результаты определения предела прочности при статическом изгибе записывают в таблицу (форма табл. 3.10).

Форма таблицы 3.10

Оценка предела прочности древесины при статическом изгибе

| Порода древесины | Размеры поперечного сечения образца, см | | Максимальное разрушающее усилие, кгс | Влажность древесины в момент испытания, % | Предел прочности при изгибе, МПа | |
|---------------------|--|----------|--|--|-------------------------------------|--|
| | <i>a</i> | <i>b</i> | | | в момент испытания | в пересчете на стандартную влажность |
| | | | | | | |

Экспериментальные результаты (табл. 3.10) сравнивают с данными, приведенными в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Прочность древесины при статическом изгибе (МПа)

| Порода | При влажности, % | |
|-----------------|------------------|------------|
| | 12 | 30 и более |
| Лиственница | 109 | 60 |
| Сосна | 84 | 48 |
| Ель | 78 | 43 |
| Кедр | 72 | 42 |
| Пихта сибирская | 67 | 40 |
| Бук | 106 | 63 |
| Дуб | 105 | 67 |
| Береза | 107 | 68 |
| Ольха | 79 | 48 |
| Осина | 76 | 45 |

3.2.7. Краткие сведения о пороках древесины

При оценке качества лесных товаров следует учитывать пороки древесины, в значительной степени определяющие сортность лесопродукции того или иного назначения.

Пороками считаются недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможность ее использования. Эти недостатки проявляются в отклонении ствола от правильной формы, в нарушении целостности древесины, в изменении ее строения, а также в дефектах, вызванных воздействием различных микроорганизмов, насекомых, птиц и других факторов. К порокам относятся и повреждения, возникающие в древесине при ее заготовке, транспортировке, сортировке, хранении, сушке и механической обработке.

В соответствии с ГОСТ 2140–81 пороки подразделяются на следующие девять групп: сучки; трещины; пороки формы ствола и строения древесины; химическая окраска; грибные, биологические и механические повреждения; инородные включения; пороки обработки; покоробленность древесины.

Указанные пороки, в свою очередь, подразделяются на виды и разновидности, имеющие свои отличительные признаки и оказывающие определенное влияние на сортность материалов и изделий из древесины.

3.3. Природные каменные материалы

Природные каменные материалы – это материалы и изделия, получаемые из горных пород без изменения их состава, строения и свойств. К ним относятся:

- материалы, образованные естественным путем (песок, гравий);
- добытые из месторождения в виде готовых изделий (стеновые камни и блоки, бутовый камень) или полуфабрикатов (куски камня для дробления на щебень, блоки облицовочного камня);
- материалы и изделия, полученные механической обработкой предварительно добытого камня-полуфабриката (щебень, облицовочные плиты и др.).

Материалы и изделия из естественного камня, применяемые в строительстве и архитектуре, имеют различное происхождение и минеральный состав, что, в свою очередь, предопределяет их физико-технические и декоративные свойства.

Общая классификация горных пород по генетическому происхождению приведена в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Классификация горных пород

| Магматические (изверженные породы) | Осадочные породы | Метаморфические породы |
|---|---|--|
| 1. Массивные 1.1. Глубинные – гранит, сиенит, диорит, лабрадорит, габбро 1.2. Излившиеся – кварцевые порфиры, порфириты, трахит, андезит, диабаз, базальт | 1. Химические осадки – гипс, ангидрит, магнезит, доломит, известковый туф (травертин) | 1. Магматические – гнейс |
| 2. Обломочные 2.1. Рыхлые – вулканический пепел и пемза 2.2. Цементированные – туфы вулканические | 2. Механические отложения 2.1. Рыхлые – глина, песок, гравий, валуны 2.2. Цементированные – песчаник, конгломераты, брекчия | 2. Осадочные – мрамор, кварцит, глинистые сланцы |
| | 3. Органогенные образования 3.1. Зоогенные – мел, ракушечник, известняк 3.2. Фитогенные – диатомит, опока, трепел | |

Горные породы представляют собой сочетание разных минералов. Например, гранит (полиминеральная порода) содержит много минералов, но основными являются полевой шпат, кварц и слюда (черная или белая). В ряде случаев порода может быть сложена из одного минерала (мономинеральная порода), например: гипс, известняк, мел.

Минерал (от латинского *minera* – руда) – природное тело, однородное по химическому составу, строению и физическим свойствам, образующееся в результате физико-химических процессов на поверхности и в глубинах земли. В основном минералы представляют собой твердые тела – кристаллические или аморфные.

При изучении природных каменных материалов необходимо: 1) установить их происхождение и минеральный состав; 2) детально ознакомиться с внешними декоративными свойствами (цвет, блеск, текстура, структура и др.) и физико-техническими показате-

лями (средняя плотность, пористость, водопоглощение, прочность, твердость, истираемость, водостойкость, морозостойкость и др.); 3) определить области их применения в строительстве.

3.3.1. Петрографическая характеристика

Петрографическая характеристика природных каменных материалов (в пер. с греч. «Петра» – камень, «графіо» – описание) включает следующие показатели:

- форма кусков;
- цвет;
- блеск;
- структура;
- текстура;
- спайность;
- поверхность излома;
- твердость.

Форма кусков породы может быть правильной или неправильной, кубовидной, плитовидной, параллелепипедной, ромбической, шаровидной и др.

Цвет зависит от минерального состава, примесей и степени выветрелости. Обычно горные породы делят по этому показателю на шесть групп: белые (почти бесцветные), от желтого до красного, зеленые, от голубого до фиолетового, от темно-серого до черного, с многоцветной окраской (пестрые).

Белый цвет обычно имеют известняки и гипсы; наличие в них глины и примесей придает породе желтые и бурые оттенки. Граниты и сиениты обычно характеризуются серым или красным цветом, более темные оттенки этих цветов указывают на присутствие в породе слюды-биотита.

При описании цвета отмечают наличие цветных пятен, жил и др.

Блеск это способность отражать свет. Он не зависит от цвета минерала, но определяется характером его поверхности. На гранях кристаллов он может быть одним, а в изломе другим. Различают блеск стеклянный (кварц на гранях кристаллов, кальцит, полевые шпаты), металлический (пирит, магнетит), жирный (кварц в изломе, нефелин), восковой (халцедон, опал), шелковистый (талк, хлорит, асбест), матовый (каолин, мел). Причем под матовым блеском следует понимать отсутствие всякого блеска, что обусловлено мелкопористым строением минерала, когда падающий свет полностью рассеивается в разных направлениях.

Многие минералы обладают перламутровым (слюда, пластинчатый гипс, некоторые полевые шпаты) или радужным (топаз, опал) отливом, а также проявляют свойство иризации, характеризующееся изменением цвета на полированной поверхности при повороте минерала (полевой шпат, лабрадор вспыхивают в некоторых местах синим, реже – золотисто-желтым цветом).

Структура. Под структурой следует понимать состояние вещества породы, обусловленное формой и размерами слагающих его частиц. Она может быть кристаллической плотной и зернистой (гранит, сиенит, флюорит и др.) с различной крупностью кристаллов: гигантокристаллическая (зерна более 10 мм), крупнокристаллическая (10...5 мм), среднекристаллическая (5...1 мм), мелкокристаллическая (1...0,1 мм), микро- или скрытокристаллическая (менее 0,1 мм). Кроме того, различают порфириовидную структуру (размеры кристаллов отличаются в десятки раз) – у порфиров; аморфную (стекловидную) – у обсидианов; оолитовую (цементированные известковым цементом шарообразные зерна кальцита) – у известняков; зернистую – у песчаников.

Текстура. Под текстурой следует понимать сложение породы. Текстуры могут быть однородные (массивные) при равномерном или хаотичном расположении минералов в породе или неоднородные при слоистом, полосчатом или ином неравномерном расположении минералов либо отдельных составляющих частиц породы.

Кроме того, текстура может быть плотной (сланцеватого, чешуйчатого и волокнистого строения) или пористой при этом ячеистого, дырчатого и землистого строения. Одновременно определяют наличие трещиноватости, размер трещин и наличие в породе различных включений.

Спайность – характеризует способность некоторых кристаллических минералов при ударе раскалываться по определенным гладким плоскостям.

Различные минералы обладают неодинаковой спайностью: весьма совершенная спайность – минералы легко расщепляются (например, слюда расслаивается на тонкие листочки в одном направлении); совершенная спайность – минералы раскалываются по определенным плоскостям, образуя ровные и блестящие поверхности (например, кальцит обладает спайностью в трех направлениях, а полевые шпаты – в двух); средняя спайность – минералы при раскалывании образуют частично неровные или частично ров-

ные поверхности; несовершенная спайность или полное ее отсутствие – минерал раскалывается по неопределенным направлениям и дает неровные поверхности излома (например, кварц). Аморфные материалы не имеют спайности.

Спайность снижает прочность горной породы и затрудняет механическую обработку природных каменных материалов.

Структура и текстура – взаимодополняющие характеристики горных пород. На рис. 3.9...3.13 представлены различные типы структур и текстур.

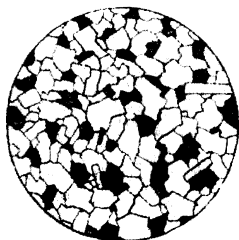


Рис. 3.9. Структура крупнокристаллическая. Текстура однородная массивная

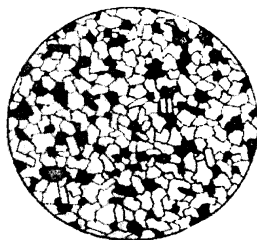


Рис. 3.10. Структура среднекристаллическая. Текстура однородная массивная

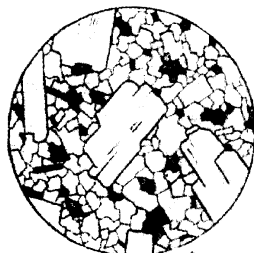


Рис. 3.11. Структура порфировидная. Текстура неоднороднокристаллическая

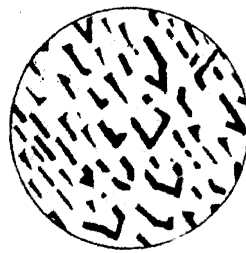


Рис. 3.12. Структура (текстура) пегматитовая

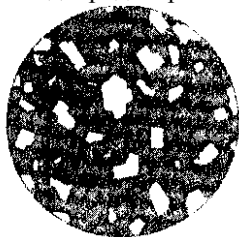


Рис. 3.13. Структуры порфировые. Текстуры пятнистые

Поверхность излома. Характер излома зависит от спайности.

Ровный гладкий излом образуется при наличии весьма совершенной спайности. Например, слюду можно расщеплять в одной плоскости на очень тонкие пластинки, а в перпендикулярной плоскости излом всегда будет неровный, так как в этом направлении спайность отсутствует.

Гладкозернистый излом образуется у минералов, имеющих совершенную спайность и средне- или мелкокристаллическое строение. Например, мраморы при изломе дают массу гладких поверхностей, ориентированных в различных направлениях.

Плоскоступенчатый излом характеризуется образованием массы ступенчатых поверхностей при раскалывании. В частности, полевые шпаты образуют такие поверхности в двух плоскостях и всегда дают неровную поверхность в третьей плоскости, где спайность отсутствует.

Неровный излом образуется при несовершенной спайности или полном ее отсутствии. При этом гладких поверхностей не образуется. Такой излом имеют кварц, корунд, магнетит, гематит и др.

Раковистый излом характеризуется образованием овальных поверхностей, напоминающих раковины. Примером могут служить опал, халцедон и др.

Занозистый излом напоминает поверхность, которая образуется при разломе древесины в направлении ее роста. Примером может служить роговая обманка, для которой в одной плоскости, где имеется спайность, излом гладкий, а в перпендикулярном направлении – занозистый.

Землистый излом присущ минералам, не имеющим выраженной кристаллической структуры. Примером может служить каолин, боксит и др.

На рис. 3.14...3.17 представлены различные типы изломов.

Индивидуальные особенности. Многие минералы обладают целым рядом индивидуальных признаков, как-то: вкус (соли); запах (каолинит); магнитность (магнетит); радиоактивность; характерные реакции с кислотами (кальцит бурно реагирует даже с разбавленной соляной кислотой); окрашивание пламени паяльной трубки в характерный цвет; ковкость; хрупкость и др.

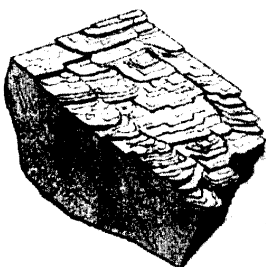


Рис. 3.14. Плоскоступенчатый излом для полевых шпатов

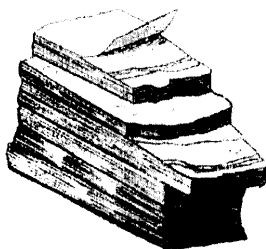


Рис. 3.15. Пластинчатые кристаллы слюды



Рис. 3.16. Раковистый излом у обсидиана

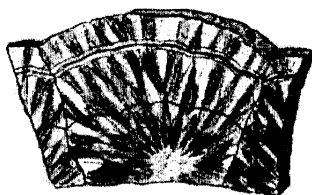


Рис. 3.17. Лучисто-волнистое строение хлорита-клинохлора

Твердость – способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела. Это свойство имеет важное значение при механической обработке каменных материалов. Твердость однородных каменных материалов определяют по шкале твердости, которая была предложена в 1811 году профессором Венского университета Ф. Моосом. Шкала состоит из 10 широко известных минералов (табл. 3.13). Каждый последующий минерал этой шкалы оставляет царапину на всех предыдущих.

На практике, используя набор минералов шкалы Мооса, сравнивают твердость исследуемого минерала с эталоном. Например, если какой-либо минерал царапает кальцит, а сам царапается флюоритом, то его твердость принимается равной 3,5.

В полевых условиях для определения твердости можно использовать подручные предметы. Твердость ногтя равна 2,5, медной монеты – 3, железного гвоздя и стекла – 5, лезвия ножа или стальной иглы – 5,5...6, напильника – 6...6,5.

Шкала твердости Мооса

| Минерал | Число твердости по Моосу | Сравнительная твердость | Группа минералов по твердости |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Тальк | 1 | Царапаются ногтем | Мягкие |
| Гипс | 2 | | |
| Кальцит | 3 | Царапаются стеклом | Средней твердости |
| Флюорит | 4 | | |
| Апатит | 5 | Равен твердости стекла | Твердые |
| Ортоклез (полевой шпат) | 6 | Царапают стекло | |
| Кварц | 7 | | |
| Топаз | 8 | Царапают кварц и легко режут стекло | Очень твердые |
| Корунд | 9 | | |
| Алмаз | 10 | | |

Для составления петрографической характеристики образцов, включающей вышеперечисленные показатели, целесообразно использовать учебные пособия [6, 7, 8], где приведены примеры описания различных минералов и горных пород. Кроме того, рекомендуется использовать приложения 8,9,11 данного учебного пособия, в которых представлены характеристики минералов различной твердости.

3.3.2. Эксплуатационно-технические свойства горных пород

Свойства природных каменных материалов определяют область их применения.

По *средней плотности* природные каменные материалы бывают:

– обыкновенные (тяжелые) – со средней плотностью более 1800 кг/м³;

– легкие – со средней плотностью не более 1800 кг/м^3 (пористого строения).

Прочность при сжатии в воздушно-сухом состоянии определяет марку каменного материала:

с М100 до М1000 ($R_{сж}$ с 10 до 100 МПа) – характеризуются как обыкновенные или тяжелые;

с М4 до М200 ($R_{сж}$ с 0,4 до 20 МПа) – относятся к легким.

Природные каменные материалы – типично хрупкие материалы, разрушающиеся без заметных деформаций, прочность при сжатии у них в 10–20 раз выше, чем при растяжении.

По **морозостойкости** каменные материалы делят на марки:

- обыкновенные (тяжелые) – с F15 до F500;

- легкие – с F10 до F25.

По **водостойкости** каменные материалы разделяют на группы с коэффициентами размягчения 0,6; 0,75; 0,9 и 1.

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

Огнестойкость зависит от минерального состава горных пород. Некоторые минералы при повышенной температуре разлагаются (гипс – при $100 \text{ }^\circ\text{C}$, известняк – при $900 \text{ }^\circ\text{C}$). Горные породы, содержащие зерна кварца (гранит, порфиры, кварцит), при пожаре растрескиваются.

Для каменных материалов, предназначенных для дорожных покрытий, полов промышленных зданий, большое значение имеют такие свойства, как стойкость к *истиранию*, *износу* и т.д.

Для каждого вида природных каменных материалов и изделий конкретные технические требования устанавливаются ГОСТами, СНиПами или ТУ в зависимости от их назначения и условий эксплуатации.

Для оценки основных физико-технических свойств используют сведения из учебной, специальной, справочной литературы [1...4, 6...13], нормативной документации 25...28, рекламных проспектов, а также приложений 8...15 данного учебного пособия. Итоговые результаты рекомендуется представлять в виде таблицы (форма табл. 3.14).

Физико-технические свойства природных каменных материалов взаимосвязаны между собой и во многом предопределяются минеральным составом и структурой пород и их однородностью.

Характеристика минералов и горных пород

| Наименование показателей | Минералы и горные породы | | | | |
|--|--------------------------|--|--|--|--|
| | | | | | |
| Классификация по генетическому происхождению | | | | | |
| Минеральный состав | | | | | |
| Средняя плотность, кг/м ³ | | | | | |
| Предел прочности при сжатии, МПа | | | | | |
| Пористость, % | | | | | |
| Водопоглощение, % | | | | | |
| Твердость | | | | | |
| Истираемость, г/см ² | | | | | |
| Долговечность | | | | | |
| Морозостойкость, циклы | | | | | |
| Водостойкость (по коэффициенту размягчения) | | | | | |

В частности, мономинеральные мелкокристаллические разновидности пород обрабатываются легче, чем крупнокристаллические или с включением минералов повышенной твердости (кварц, гранит и др.) [8].

Требования к стеновым, облицовочным, конструкционным и другим природным материалам на основе горных пород устанавливаются стандартами [25...28, 33, 34]. Технические требования к горным породам для бутового камня, облицовочных плит и стеновых изделий представлены в приложении [25].

Горные породы используются не только после механической переработки в виде природных каменных материалов и изделий, состав, строение и свойства которых близки к исходным горным породам, но и как сырьевые материалы для получения искусственных строительных материалов по различным технологиям, часто включающим температурную обработку, и способствующим изменению состава, строения и свойств исходных материалов.

Итоговые результаты рекомендуется представлять в виде таблицы (форма табл. 3.15).

Области применения горных пород

| Назначение | Вид материалов и изделий | Рекомендуемые горные породы |
|------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | |

Дополнительная информация, включающая исторические и географические сведения о природных каменных материалах, содержится в [6...13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество строительных материалов определяется степенью соответствия их свойств техническим требованиям с учетом климатических и иных условий работы конструкций и сооружений.

Используя данное учебное пособие, можно ознакомиться с ключевыми свойствами ряда природных и искусственных материалов, наиболее широко применяемых в строительстве в условиях Восточной Сибири. Перечень обязательных испытаний этих материалов, методики их определения и предъявляемые к ним требования приведены в соответствии с действующими ГОСТами и техническими условиями.

Учебное пособие способствует расширению и закреплению знаний, полученных студентами на занятиях по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», а также подготавливает к освоению процедуры оценки качества изделий при их приемке, рассматриваемой при изучении дисциплины «Стандартизация и метрология».

Современные лаборатории оснащаются не только традиционным оборудованием (прессы, разрывные машины, весы, морозильные камеры), но и ультразвуковыми приборами и установками для неразрушающего контроля, климатическими камерами (камерами погоды) для оценки долговечности материалов, оборудованием для исследования естественной радиоактивности строительной продукции.

Для более подробного и детального изучения теоретических вопросов и нормативных требований целесообразно обращение к источникам информации, приведенным в списке литературы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные материалы (материаловедение и технологии): учеб. для вузов / В.Г. Миккульский – М.: АСВ, 2002. – 536 с.
2. Строительные материалы: учеб. для вузов / Г.И. Горчаков [и др.] – М.: Высш. шк. 1982. – 352 с.
3. Общий курс строительных материалов: учеб. пособие для вузов / И.А. Рыбьев, [и др.] под ред. И.А. Рыбьева. – М.: Высшая школа, 1987. – 584 с.
4. Строительные материалы: справочник / А.С. Болдырев [и др.]; под ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова. – М.: Стройиздат, 1989. – 576 с.
5. Попов, Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий: учебное пособие для строит. спец. вузов / Л.Н. Попов – М.: Высшая школа, 1984. – 168 с.
6. Иванов, В.Г. Инженерная геология. Минералы и их применение в строительстве, архитектуре и искусстве: учебное пособие / В.Г. Иванов. – Братск: БрИИ, 1996. – 100 с.
7. Иванов, В.Г. Инженерная геология. Горные породы и их применение в строительстве, архитектуре и искусстве: учебное пособие / В.Г. Иванов. – Братск: БрИИ, 1996. – 122 с.
8. Глебов, М.П. Свойства природных каменных материалов и основные области их применения в строительстве: учебное пособие / М.П. Глебов. – Братск: БрИИ, 1996. – 58 с.
9. Музафаров, В.Г. Определитель минералов, горных пород и окаменелостей / В.Г. Музафаров. – М.: Недра, 1979. – 327 с.
10. Петрографический словарь / В.П. Петров [и др.] под ред. В.П. Петрова, О.А. Богатикова, Р.П. Петрова. – М.: Недра, 1981. – 496 с.
11. Минералогическая энциклопедия / под ред. К. Фрея; пер. с англ. Л.: Недра, 1985
12. Штрюбель, Г. Минералогический словарь / Г., Штрюбель, З.Х. Циммер. – М.: Недра, 1987. – 296 с.
13. Шуман, В. Мир камня. Горные породы и минералы / В. Шуман. – М.: Мир, 1986. – 210 с.
14. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: справочник / И.Х. Наназашвили – М.: Высш. шк. 1990 – 445 с.

15. Материаловедение. Природные и обжиговые строительные материалы: учеб. пособие для вузов / В.Ф. Завадский [и др.] – Новосибирск: НГАСУ, 2000. 88 с.
16. Варанкина, Г.С. Древесиноведение и лесное товароведение: учеб. пособие для вузов / Г.С. Варанкина. – Братск: БрГТУ, 2001. 123 с.
17. Кудяков, А.И. Сертификационные испытания строительных материалов и изделий: учеб. пособие для вузов / А.И. Кудяков, И.Н. Нагорняк – Томск: Изд-во ТГАСУ, 1999. – 335 с.
18. ГОСТ 530–95 Кирпич и камни керамические. Технические условия.
19. ГОСТ 8462–85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
20. ГОСТ 7484–78 Кирпич и камни керамические лицевые. Технические условия.
21. ГОСТ 7025–91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
22. ГОСТ 2694–78 Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные. Технические условия.
23. ГОСТ 12004–81 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
24. Булгаков, С.Н. Концепция научного обеспечения решения актуальных проблем строительного комплекса России // Современные проблемы строительного материаловедения: международ. науч. – техн. конф: – Самара: СамАСА, 1995. – С.22–27.
25. ГОСТ 9479–84 Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий. Технические условия.
26. ГОСТ 4001–84 Камни стеновые из горных пород. Технические условия.
27. ГОСТ 15884–85 Блоки стеновые из природного камня. Технические условия.
28. ГОСТ 24099–80 Плиты декоративные на основе природного камня. Технические условия.
29. ГОСТ 125–79 Вяжущие гипсовые. Технические условия.
30. ГОСТ 10178–85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
31. Воробьев, В.А. Строительные материалы: учебник для строит. специальностей вузов / В.А. Воробьев. – М.: ВШ, 1979. – 382 с.

32. ГОСТ 26633–91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
33. ГОСТ 8267–93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
34. ГОСТ 8735–88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.
35. ГОСТ 16483–81 Древесина. Методы испытания.
36. Соломатов, В.И. Современное строительное материаловедение. Что дальше? В.И. Соломатов // Современные проблемы строительного материаловедения: Программа. Генеральные доклады международной научно–технической конференции / В.И. Соломатов. – Самара: СамАСА, 1995. – С. 28–32.
37. Попов, Л.Н. Строительные материалы и изделия: учебник для вузов / Л.Н. Попов, Н.Л. Попов. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 384 с.
38. Материаловедение и технология: учебник для вузов / Г.П. Фетисов [и др.] – М.: Высш. шк., 2000. – 638 с.
39. Белов, В.В. Лабораторные определения свойств строительных материалов: учебное пособие для вузов / В.В. Белов, В.Б. Петропавловская, Ю.А. Шлапаков. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2004. – 176 с.
40. Золоторевский, В.С. Механические испытания и свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: Metallургия, 1974. – 304 с.

**Основные свойства строительных материалов
различного назначения**

| Материалы | Истинная плотность, кг/м ³ | Средняя плотность, кг/м ³ | Теплопроводность, Вт/м°С | Предел прочности; при сжатии, МПа |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Пенопласт | 1400 | 70...190 | 0,046...0,052 | 0,42...0,48 |
| Минеральная вата | 2800 | 150...250 | 0,044...0,046 | 0,50...1,00 |
| Пеногипс и газогипс | 2700 | 500 | 0,120 | 2,5...5,0 |
| Пеностекло и газостекло | 2600 | 300...500 | 0,104...0,0139 | 0,8...2,0 |
| Древесина: | | | | |
| сосна | | | | |
| – вдоль волокон | 1600 | 500...600 | 0,174...0,232 | 30,0...40,0 |
| – поперек волокон | 1600 | 500...600 | 0,093...0,116 | – |
| дуб | | | | |
| – вдоль волокон | 1650 | 700...900 | 0,232...0,291 | 40,0...60,0 |
| – поперек волокон | 1650 | 700...900 | 0,116...0,174 | – |
| Пенобетон и газобетон | 2800 | 400...1000 | 0,116...0,349 | 0,5...5,0 |
| Кирпич глиняный: | | | | |
| – обыкновенный | 2700 | 1600...1900 | 0,465...0,674 | 7,5...30,0 |
| – пустотелый | 2700 | 1300...1450 | 0,395...0,442 | 7,5...30,0 |
| – пористый | 2700 | 700...1400 | 0,163...0,372 | 0,6...2,5 |
| Гипс и гипсовые изделия | 2700 | 700...1300 | 0,232...0,442 | 0,2...7,5 |
| Известняки плотные | 2600 | 1600...2100 | 0,523...1,000 | 15...50 |
| Известняки-ракушечники | 2700 | 1100...1600 | 0,291...0,581 | 0,4...123 |
| Строительные растворы на кварцевом песке: | | | | |
| – известковые | 2800 | 1500...1600 | 0,523...0,581 | – |
| – цементные | 2700 | 1700...1800 | 0,381...0,683 | – |
| Бетон: | | | | |
| тяжелый | 2600 | 2100...2200 | 1,046...1,511 | 10,0...60,0 |
| | | 1800...2000 | 0,697...1,046 | |
| легкий | 2600 | 800...1800 | 0,186...0,697 | 1,5...30,0 |
| Стекло листовое | 2600 | 2500 | 0,756 | 600...800 |
| Гранит | 3000 | 2500...3000 | 3,256...3,488 | 100...330 |
| Сталь | 7850 | 7850 | 56,0...58,0 | 380...450 |
| *Воздух | – | 0,29 | 0,023 | – |
| Вода | – | 1000 | 0,581 | – |
| Лед | – | 900 | 2325 | – |

Примечание. * – показатели свойств соответственно воздуха, воды и льда приведены для сравнительной оценки.

Определение марки по прочности стеновой керамики [18]

| Марка изделия | Предел прочности, МПа (кгс/см ²) | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|---|---------------------------|---|
| | при сжатии | | при изгибе | | | | | |
| | всех видов изделий | | полнотелого кирпича пластического формования | | кирпича полусухого прес- сования и пустотелого кирпича | | утолщенного кирпича | |
| | Средний для 5 образцов | Наименьший для отдель- ного образца | Средний для 5 образцов | Наименьший для отдель- ного образца | Средний для 5 образцов | Наименьший для отдель- ного образца | Средний для 5 образцов | Наименьший для отдель- ного образца |
| 300 | 30,0 (300) | 25 (250) | 4,4 (44) | 2,2 (22) | 3,4 (34) | 1,7 (17) | 2,9 (29) | 1,5 (15) |
| 250 | 25,0 (250) | 20 (200) | 3,9 (39) | 2,0 (20) | 2,9 (29) | 1,5 (15) | 2,5 (25) | 1,3 (13) |
| 200 | 20,0 (200) | 17,5 (175) | 3,4 (34) | 1,7 (17) | 2,5 (25) | 1,3 (13) | 2,3 (23) | 1,1 (11) |
| 175 | 17,5 (175) | 15,0 (150) | 3,1 (31) | 1,5 (15) | 2,3 (23) | 1,1 (11) | 2,1 (21) | 1,0 (10) |
| 150 | 15,0 (150) | 12,5 (125) | 2,8 (28) | 1,4 (14) | 2,1 (21) | 1,0 (10) | 1,8 (18) | 0,9 (9) |
| 125 | 12,5 (125) | 10,0 (100) | 2,5 (25) | 1,2 (12) | 1,9 (19) | 0,9 (9) | 1,6 (16) | 0,8 (8) |
| 100 | 10,0 (100) | 7,5 (75) | 2,2 (22) | 1,1 (11) | 1,6 (16) | 0,8 (8) | 1,4 (14) | 0,7 (7) |
| 75 | 7,5 (75) | 5,0 (50) | 1,8 (18) | 0,9 (9) | 1,4 (14) | 0,7 (7) | 1,2 (12) | 0,6 (6) |
| Для кирпича и камней с горизонтальным расположением пустот | | | | | | | | |
| 100 | 10,0 (100) | 7,5 (75) | – | – | – | – | – | – |
| 75 | 7,5 (75) | 5,0 (50) | – | – | – | – | – | – |
| 50 | 5,0 (50) | 3,5 (35) | – | – | – | – | – | – |
| 35 | 3,5 (35) | 2,5 (25) | – | – | – | – | – | – |
| 25 | 2,5 (25) | 1,5 (15) | – | – | – | – | – | – |

Примечание. Предел прочности при изгибе определяют по фактической площади кирпича без вычета площади пустот.

Примеры расчета состава строительного раствора

Пример 1. Подобрать состав цементно-известкового раствора марки «50». Погружение конуса СтройЦНИЛа – 8–10 см. Марка портландцемента – «300». Средняя плотность известкового теста $\rho_m = 1,4 \text{ г/см}^3$. Песок средней крупности, $K = 0,8$.

Решение:

1. Определим расход цемента на 1 м^3 песка:

$$\text{Ц} = (R_{28} - 4) / (KR_{\text{ц}}) + 0,05 = 0,24 \text{ т/м}^3.$$

2. Определим количество объемных частей песка на 1 объемную часть цемента: $\Pi = \frac{\rho_m^{\text{п}}}{\text{Ц}} = 5,4$ части.

3. Определим число объемных частей известкового теста:

$$\text{И} = 0,15\Pi - 0,3 = 0,51 \text{ части.}$$

Состав по объему: 1:0,51:5,4.

Состав по весу: $1 \rho_m^{\text{п}} / \rho_m^{\text{ц}} : 0,51 \rho_m^{\text{изв.т.}} / \rho_m^{\text{ц}} : 5,4 \rho_m^{\text{п}} / \rho_m^{\text{ц}} = 1:0,55:6,65$.

4. Рассчитываем количество материалов на замес, равный 2,5 л:

песка: $2,5 \rho_m^{\text{п}} = 4,0 \text{ кг}$;

цемента: на 6,65 кг песка – 1 кг цемента; на 4,0 кг песка $\text{Ц} = 4,0 \cdot 1/6,65 = 0,60 \text{ кг}$;

известкового теста: на 1 кг цемента – 0,55 кг извести; на 0,60 кг цемента $\text{И} = 0,33 \text{ кг}$.

Следовательно, количество материалов на замес в 2,5 л по весу: песка – 4 кг, цемента – 0,60 кг, известкового теста – 0,33 кг.

Количество воды, требующейся на замес заданной пластичности (8...10 см), определяется опытным путем. Возьмем первоначальное водовязущее отношение, равное 0,4, т.е. $\frac{\text{В}}{\text{Ц} + \text{И}} = 0,40$.

В нашем случае на замес потребуется воды:

$$\text{В} = 0,4(\text{Ц} + \text{И}) = 0,4(0,60 + 0,33) = 0,37 \text{ л.}$$

5. Приготовим раствор и произведем измерение пластичности по погружению конуса СтройЦНИЛа.

Если пластичность окажется недостаточной, то следует добавлять малыми дозами воду или известковое тело до получения заданной пластичности.

6. Из растворной смеси заданной пластичности изготавливаем стандартные образцы-кубики размером $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см. Из них три образца должны быть изготовлены на пористом основании (на кирпиче) и 3 – на плотном (поддоне).

7. На 28-й день после изготовления и нормального хранения образцы испытывают на сжатие. По результатам испытания проверяют марку.

Пример 2

Подобрать состав простого раствора марки «100». Погружение конуса СтройЦНИЛа – 6...8 см. Марка портланд-цемента – «300».

Средняя плотность цемента $\rho_{\frac{\text{Ц}}{m}} = 1,3$ кг/л. Средняя плотность пес-

ка $\rho_{\frac{\text{П}}{m}} = 1,6$ кг/л.

Решение:

1. Определяем водоцементное отношение по формуле

$$R_{28} = 0,25 R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,4), \text{ откуда } \text{В/Ц} = 0,58.$$

2. Задаемся ориентировочно составом раствора 1:4 по объему, готовим смесь и проверяем ее пластичность.

3. Количество потребных материалов на замес 2,5 л по весу составит:

$$\text{песка: } 2,5 \rho_{\frac{\text{П}}{m}} = 4 \text{ кг;}$$

$$\text{цемента: } 2,5:4 = 0,625 \text{ л; } 0,625 \rho_{\frac{\text{Ц}}{m}} = 0,81 \text{ кг;}$$

$$\text{воды: } \text{В} = 0,58\text{Ц} = 0,47 \text{ кг.}$$

Если пластичность смеси, определяемая погружением конуса, недостаточна, то добавляем небольшими порциями воду и цемент в таком соотношении, при котором сохраняется расчетная В/Ц.

Пусть в нашем примере оказалось, что для получения заданной пластичности растворной смеси потребовалось добавить 150 г цемента. Тогда общее количество цемента в замесе будет: $0,81 + 0,15 = 0,96$ кг. Состав раствора по массе: 1:4,16.

4. Произведем подсчет количества потребных материалов для раствора полученного состава на 1 м^3 песка:

$$П = 1000 \rho_m^n = 1600 \text{ кг};$$

цемента: на 2,5 л песка – 0,96 кг цемента; на 1000 л песка
 $Ц = 384 \text{ кг};$

$$\text{воды: } В = 0,58Ц = 223 \text{ л.}$$

5. Из полученной смеси изготавливают стандартные кубики для испытания на 28-й день на прочность при сжатии и определяют марку раствора и водоудерживающую способность.

Твердость и предел прочности стали

| Твердость | | | | | | | | | Предел прочности стали, кгс/мм ² | | | | |
|-----------------------------|-----|---|-------------|---|------------|------------|---|----------------|--|------------|----------------|-------------------|-----------|
| по Бринеллю | | по Роквеллу с алмазным наконечником | | по «Супер–Роквеллу» с алмазным наконечником | | | по Роквеллу с шариковым наконечником В P = 100 кгс | по Виккерсу НВ | углеродистой | хромансиль | хромоникелевой | хромомолибденовой | хромистой |
| D = 10 мм | | Шкалы | | | | | | | | | | | |
| Диаметр отпечатка, мм | НВ | А | С | 15N | 30N | 45N | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| | | P = 60 кгс | P = 150 кгс | P = 15 кгс | P = 30 кгс | P = 45 кгс | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 2,25 | 745 | 83 | 70 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 2,3 | 712 | 82 | 68 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 2,35 | 682 | 81 | 66 | 93 | 82,5 | 73 | – | – | – | – | – | – | – |
| 2,36 | 688 | 84,5 | 65 | 92,5 | 82 | 72 | – | – | 248 | – | 234 | 227 | – |
| 2,37 | 670 | 83,5 | 64 | 92 | 81 | 71 | – | – | 241 | – | 228 | 221 | – |
| 2,39 | 659 | 83 | 63 | 91,5 | 80 | 70 | – | – | 237 | – | 224 | 218 | – |
| 2,42 | 643 | 82,5 | 62 | 91 | 79 | 69 | – | – | 231 | – | 217 | 212 | – |
| 2,44 | 632 | 82,5 | 62 | 91 | 79 | 68 | – | 832 | 227 | – | 214 | 209 | 220 |
| 2,46 | 621 | 82 | 61 | 90,5 | 78 | 67 | – | 800 | 224 | – | 211 | 205 | 217 |
| 2,48 | 611 | 81,5 | 60 | 90 | 77,5 | 66,5 | – | 773 | 220 | – | 207 | 202 | 213 |

Продолжение прил. 4

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|------|------|------|------|------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 2,5 | 601 | 81 | 59 | 89,5 | 77 | 66,5 | – | 756 | 216 | – | 204 | 198 | 210 |
| 2,52 | 502 | 80,5 | 59 | 89 | 77 | 65 | – | 728 | 212 | – | 200 | 195 | 206 |
| 2,54 | 502 | 80 | 58 | 89 | 76 | 64 | – | 704 | 208 | – | 197 | 192 | 203 |
| 2,56 | 573 | 80 | 57 | 88,5 | 75 | 63,5 | – | 693 | 206 | 206 | 195 | 189 | 201 |
| 2,58 | 564 | 79,5 | 56,5 | 88 | 74 | 62 | – | 672 | 203 | 203 | 192 | 186 | 198 |
| 2,6 | 555 | 79 | 56 | 88 | 74 | 61,5 | – | 653 | 200 | 200 | 189 | 183 | 195 |
| 2,62 | 547 | 79 | 55,5 | 87,5 | 73,5 | 61 | – | 635 | 196 | 197 | 185 | 180 | 191 |
| 2,64 | 538 | 78,5 | 55 | 87,5 | 73 | 60,5 | – | 626 | 194 | 194 | 184 | 178 | 189 |
| 2,66 | 530 | 78 | 54 | 87 | 72,5 | 60 | – | 610 | 191 | 191 | 180 | 175 | 185 |
| 2,68 | 522 | 78 | 53 | 86,5 | 71,5 | 59 | – | 594 | 187 | 188 | 177 | 173 | 182 |
| 2,7 | 514 | 77,5 | 52,5 | 86,5 | 70 | 58 | – | 586 | 185 | 185 | 175 | 170 | 180 |
| 2,72 | 507 | 77 | 52 | 86 | 70 | 57 | – | 570 | 182 | 182 | 172 | 167 | 177 |
| 2,74 | 499 | 76 | 51 | 86 | 70 | 56,5 | – | 563 | 180 | 180 | 170 | 165 | 175 |
| 2,76 | 492 | 76 | 50 | 86,5 | 69,5 | 56 | – | 549 | 177 | 177 | 167 | 162 | 172 |
| 2,78 | 485 | 76 | 50 | 85 | 69 | 55 | – | 542 | 175 | 175 | 165 | 160 | 170 |
| 2,8 | 478 | 76 | 49,5 | 85 | 68 | 54 | – | 531 | 172 | 173 | 162 | 157 | 167 |
| 2,82 | 470 | 76 | 49 | 84,5 | 68 | 54 | – | 521 | 169 | 169 | 160 | 155 | 165 |
| 2,84 | 464 | 75 | 48 | 84 | 67,5 | 53,5 | – | 514 | 167 | 167 | 158 | 153 | 163 |
| 2,86 | 457 | 75 | 48 | 84 | 67 | 53 | – | 508 | 164 | 164 | 156 | 151 | 161 |
| 2,88 | 451 | 74,5 | 47,5 | 83,5 | 66,5 | 52,5 | – | 495 | 162 | 162 | 153 | 149 | 158 |
| 2,9 | 444 | 74 | 47 | 83,5 | 66 | 52 | – | 484 | 160 | 160 | 151 | 146 | 156 |
| 2,92 | 438 | 73,5 | 46 | 83,5 | 65,5 | 51 | – | 477 | 158 | 158 | 149 | 144 | 153 |

Продолжение прил. 4

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|------|------|------|------|------|---|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 2,94 | 432 | 73 | 45,5 | 83 | 64,5 | 50 | – | 468 | 155 | 155 | 147 | 142 | 151 |
| 2,96 | 426 | 73 | 45,5 | 82,5 | 64 | 49 | – | 457 | 153 | 153 | 145 | 140 | 149 |
| 2,98 | 420 | 73 | 44 | 82,5 | 64 | 49 | – | 449 | 151 | 151 | 143 | 138 | 147 |
| 3 | 415 | 73 | 44 | 82 | 63,5 | 48,5 | – | 442 | 149 | 149 | 141 | 137 | 145 |
| 3,02 | 409 | 72 | 43 | 81,5 | 63 | 47,5 | – | 434 | 147 | 147 | 139 | 135 | 143 |
| 3,04 | 404 | 72 | 43 | 81,5 | 62,5 | 47,5 | – | 427 | 145 | 145 | 137 | 133 | 141 |
| 3,06 | 398 | 72 | 42 | 81,5 | 62,5 | 47,5 | – | 419 | 143 | 143 | 135 | 131 | 139 |
| 3,08 | 393 | 72 | 42 | 81 | 62 | 46,5 | – | 413 | 141 | 141 | 134 | 130 | 137 |
| 3,1 | 388 | 71 | 41 | 80,5 | 61 | 45 | – | 406 | 139,5 | 140 | 132 | 128 | 136 |
| 3,12 | 383 | 71 | 41 | 80,5 | 61 | 45 | – | 401 | 138 | 138 | 130 | 126 | 134 |
| 3,14 | 378 | 71 | 40 | 80 | 60 | 44 | – | 395 | 136 | 135 | 128 | 125 | 132 |
| 3,16 | 373 | 70,5 | 40 | 80 | 60 | 44 | – | 389 | 134 | 134 | 127 | 123 | 130 |
| 3,18 | 368 | 70 | 39,5 | 79,5 | 59 | 43 | – | 383 | 132 | 132 | 125 | 121 | 128,5 |
| 3,2 | 363 | 70 | 39 | 79,5 | 59 | 43 | – | 377 | 131 | 131 | 123,5 | 120 | 127 |
| 3,22 | 359 | 70 | 39 | 79,5 | 59 | 43 | – | 372 | 129 | 123 | 122 | 118 | 125,5 |
| 3,24 | 354 | 69 | 38 | 79 | 58 | 42 | – | 366 | 127,5 | 124 | 120,5 | 117 | 124 |
| 3,26 | 350 | 69 | 38 | 79 | 58 | 42 | – | 361 | 126 | 122 | 119 | 115 | 122,5 |
| 3,28 | 345 | 69 | 37,5 | 78,5 | 57,5 | 40,5 | – | 356 | 124 | 121 | 117 | 114 | 121 |
| 3,3 | 341 | 69 | 37 | 78,5 | 57,5 | 40,5 | – | 351 | 122,5 | 119 | 166 | 112 | 119 |
| 3,32 | 337 | 68,5 | 36,5 | 78 | 57 | 39,5 | – | 347 | 121 | 118 | 114,5 | 111 | 118 |

Продолжение прил. 4

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|----|------|------|------|------|---|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 3,34 | 333 | 68 | 36 | 78 | 57 | 39,5 | – | 342 | 120 | – | 113,5 | – | 117 |
| 3,36 | 329 | 68 | 36 | 78 | 78 | 39,5 | – | 337 | 118 | 115 | 112 | 108 | 115,3 |
| 3,38 | 325 | 68 | 35 | 77,5 | 56 | 38 | – | 332 | 117 | 114 | 110 | 107 | 114 |
| 3,4 | 321 | 68 | 35 | 77,5 | 56 | 38,5 | – | 328 | 115,5 | 112 | 109 | 106 | 112 |
| 3,42 | 313 | 67 | 34 | 77 | 55 | 37,5 | – | 323 | 114 | 111 | 108 | 104 | 111 |
| 3,44 | 313 | 67 | 34 | 77 | 55 | 37,5 | – | 319 | 113 | 110 | 107 | 103 | 109,5 |
| 3,46 | 309 | 67 | 33,5 | 76,5 | 54 | 36,5 | – | 315 | 111 | 108 | 105 | 102 | 108 |
| 3,48 | 306 | 67 | 33 | 76,5 | 54 | 36 | – | 311 | 110 | 107 | 104 | 101 | 107 |
| 3,5 | 302 | 67 | 33 | 76,5 | 54 | 36 | – | 307 | 108,5 | 106 | 103 | 100 | 105,5 |
| 3,52 | 298 | 67 | 32 | 76,5 | 54 | 36 | – | 302 | 107 | 104 | 101,5 | 98 | 104 |
| 3,54 | 295 | 66 | 31,5 | 76 | 53 | 35 | – | 299 | 106 | 103 | 100,5 | 97 | 103 |
| 3,56 | 292 | 66 | 31 | 76 | 52,5 | 34,5 | – | 296 | 105 | 102 | 99,5 | 96 | 102 |
| 3,58 | 288 | 66 | 31 | 75,5 | 52 | 34 | – | 292 | 103,5 | 101 | 98 | 95 | 101 |
| 3,6 | 285 | 66 | 30 | 75 | 51,5 | 33,5 | – | 288 | 102,5 | 100 | 97 | 94 | 100 |
| 3,62 | 282 | 66 | 30 | 75 | 51 | 32,5 | – | 285 | 101,5 | 99 | 96 | 93 | 98,5 |
| 3,64 | 278 | 66 | 29 | 74,5 | 51 | 32 | – | 281 | 100 | 98 | 94,5 | 92 | 97,5 |
| 3,66 | 275 | 65 | 29 | 74,5 | 50,5 | 31,5 | – | 278 | 99 | 96 | 93,5 | 91 | 96,5 |
| 3,68 | 272 | 65 | 28 | 74 | 50 | 30,5 | – | 274 | 98 | 95 | 92,5 | 90 | 95,5 |
| 3,7 | 269 | 65 | 28 | 74 | 50 | 30,5 | – | 271 | 97,5 | 94 | 91,5 | 89 | 94 |
| 3,72 | 266 | 65 | 28 | 73,5 | 49 | 29,5 | – | 268 | 95,5 | 91 | 90,5 | 88 | 93 |

Продолжение прил. 4

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|----|------|----|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 3,74 | 263 | 64 | 27 | 73 | 49 | 29 | – | 265 | 94,5 | 89 | 89,5 | 87 | 92 |
| 3,76 | 260 | 64 | 27 | 73 | 48 | 28,5 | – | 262 | 93,5 | 88 | 88,5 | 86 | 91 |
| 3,78 | 257 | 64 | 26 | 73 | 48 | 28 | – | 259 | 92,5 | 87 | 87,5 | 85 | 90 |
| 3,8 | 255 | 64 | 26 | 72,5 | 48 | 27 | – | 259 | 92 | 87 | 86,5 | 84 | 89 |
| 3,82 | 252 | 63,5 | 25,5 | 72 | 47 | 26,5 | – | 253 | 90,5 | 86 | 85,5 | 83 | 88 |
| 3,84 | 249 | 63 | 25 | 72 | 46 | 26,5 | – | 250 | 89,5 | 85 | 84,5 | 82 | 87 |
| 3,86 | 246 | 63 | 25 | 72 | 46 | 26 | – | 247 | 88,5 | 84 | 83,5 | 81 | 86 |
| 3,88 | 244 | 63 | 24,5 | 71,5 | 45,5 | 25 | – | 244 | 88 | 83 | 83 | 80 | 85,5 |
| 3,9 | 241 | 63 | 24 | 71 | 45 | 24 | 100 | 242 | 87 | 82 | 82 | 80 | 84,5 |
| 3,92 | 239 | 62 | 23,5 | 71 | 44,5 | 24 | 100 | 239 | 86 | 81 | 81,5 | 78 | 83,5 |
| 3,94 | 236 | 62 | 23 | 70,5 | 44 | 23,5 | 99 | 236 | 85 | 80 | 80,5 | 78 | 82,5 |
| 3,96 | 234 | 62 | 23 | 70,5 | 43,5 | 23 | 99 | 234 | 84 | 80 | 80 | 77 | 82 |
| 3,98 | 231 | 62 | 22,5 | 70 | 43 | 22,5 | 99 | 231 | 83 | 79 | 78,5 | 76 | 80,5 |
| 4 | 229 | 62 | 22 | 70 | 43 | 22 | 98 | 229 | 82,5 | 78 | 77,5 | 76 | 80 |
| 4,02 | 226 | 61,5 | 21,5 | – | – | – | 98 | 226 | 85,1 | 77 | 76,5 | 75 | 79 |
| 4,04 | 224 | 61,5 | 21,5 | – | – | – | 98 | 224 | 80,5 | 76 | 76 | 74 | 78 |
| 4,06 | 222 | 61 | 21 | – | – | – | 97 | 222 | 80 | 75 | 75,5 | 73 | 77,5 |
| 4,08 | 219 | 61 | 20 | – | – | – | 97 | 219 | 79 | 74 | 74,5 | 72 | 76,5 |
| 4,1 | 217 | 61 | 20 | – | – | – | 97 | 217 | 78 | 73 | 73 | 71 | 76 |
| 4,12 | 215 | 61,5 | 19,5 | – | – | – | 96 | 215 | 77,5 | 73 | 73 | 71 | 75 |

Продолжение прил. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|-----|------|------|---|---|---|----|-----|------|----|------|----|------|
| 4,14 | 213 | 61 | 19,5 | – | – | – | 96 | 213 | 76,5 | 71 | 72,5 | 70 | 74,5 |
| 4,16 | 211 | 60 | 19 | – | – | – | 95 | 210 | 76 | 69 | 72 | 70 | 74 |
| 4,18 | 209 | 60 | 18,5 | – | – | – | 95 | 208 | 75,5 | 69 | 71 | 69 | 73 |
| 4,2 | 207 | 60 | 18 | – | – | – | 95 | 206 | 74,5 | 68 | 70,5 | 68 | 72,5 |
| 4,22 | 204 | 60 | – | – | – | – | 94 | 203 | 73,5 | 67 | 69,5 | 67 | 71,5 |
| 4,24 | 202 | 59 | – | – | – | – | 93 | 201 | 73 | 67 | 68,5 | 67 | 71 |
| 4,26 | 200 | 59 | – | – | – | – | 93 | 199 | 72 | 66 | 68 | 66 | 70 |
| 4,28 | 198 | 58,5 | – | – | – | – | 93 | 197 | 71,5 | 65 | 67,5 | 65 | 69,5 |
| 4,3 | 197 | 58 | – | – | – | – | 93 | 196 | 71 | 65 | 67 | 65 | 69 |
| 4,32 | 195 | 58 | – | – | – | – | 92 | 194 | 70,5 | 64 | 66,5 | 64 | 68,5 |
| 4,34 | 193 | 58 | – | – | – | – | 92 | 192 | 69,5 | 64 | 66,5 | 64 | 67,5 |
| 4,36 | 191 | 58 | – | – | – | – | 91 | 190 | 69 | 63 | 65 | 63 | 67 |
| 4,38 | 189 | 57 | – | – | – | – | 91 | 188 | 68 | 62 | 64,5 | 62 | 66 |
| 4,4 | 187 | 57 | – | – | – | – | 91 | 186 | 67,5 | 62 | 63,5 | 62 | 65 |
| 4,42 | 185 | 56,5 | – | – | – | – | 90 | 184 | 67 | 61 | 63 | 61 | 64 |
| 4,44 | 184 | 56 | – | – | – | – | 90 | 183 | 66 | 60 | 62,5 | 60 | 64 |
| 4,46 | 182 | 56 | – | – | – | – | 89 | 181 | 66 | 60 | 62 | 60 | 63 |
| 4,48 | 180 | 56 | – | – | – | – | 89 | 179 | 65 | 59 | 61,5 | 59 | 63 |
| 4,5 | 179 | 50 | – | – | – | – | 88 | 179 | 64 | 59 | 61 | 59 | 62 |
| 4,52 | 177 | 56 | – | – | – | – | 88 | 176 | 63,5 | 58 | 60 | 58 | 62 |

Продолжение прил. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|-----|------|---|---|---|---|----|-----|------|----|------|----|------|
| 4,54 | 174 | 55 | – | – | – | – | 87 | 173 | 62,5 | 57 | 59 | 57 | 61 |
| 4,56 | 173 | 55 | – | – | – | – | 87 | 172 | 62 | 57 | 59 | 57 | 61 |
| 4,58 | 172 | 55 | – | – | – | – | 87 | 171 | 62 | 57 | 59 | 57 | 60 |
| 4,6 | 170 | 55 | – | – | – | – | 87 | 169 | 61 | 56 | 58 | 56 | 59,5 |
| 4,62 | 169 | 55 | – | – | – | – | 86 | 168 | 61 | 56 | 57 | 56 | 59 |
| 4,64 | 167 | 54 | – | – | – | – | 85 | 166 | 60 | 55 | 57 | 55 | 58,5 |
| 4,66 | 166 | 54 | – | – | – | – | 85 | 165 | 60 | 55 | 56 | 55 | 58 |
| 4,68 | 164 | 53,5 | – | – | – | – | 85 | 163 | 69 | 55 | 56 | 55 | 57,5 |
| 4,7 | 163 | 53 | – | – | – | – | 84 | 162 | 59 | 54 | 55 | 54 | 57 |
| 4,72 | 161 | 53 | – | – | – | – | 84 | 160 | 58 | 53 | 55 | 53 | 56,5 |
| 4,74 | 159 | 53 | – | – | – | – | 83 | 159 | 57 | 52 | 54 | 52 | 54 |
| 4,76 | 158 | 53 | – | – | – | – | 83 | 157 | 57 | 52 | 54 | 52 | 55,5 |
| 4,78 | 157 | 52,5 | – | – | – | – | 83 | 157 | 57 | 52 | 53 | 52 | 55 |
| 4,8 | 156 | 52 | – | – | – | – | 81 | 155 | 56 | 52 | 53 | 52 | 54,5 |
| 4,82 | 154 | 52 | – | – | – | – | 81 | 152 | 55 | 51 | 52 | 51 | 54 |
| 4,84 | 153 | – | – | – | – | – | 81 | 152 | 55 | 51 | 52 | 51 | 53,5 |
| 4,86 | 152 | 52 | – | – | – | – | 80 | 152 | 55 | 50 | 52 | 50 | 53 |
| 4,88 | 150 | 51 | – | – | – | – | 80 | 150 | 54 | 50 | 51 | 50 | 52,5 |
| 4,9 | 149 | 51 | – | – | – | – | 79 | 149 | 54 | 49 | 51 | 49 | 51,5 |
| 4,92 | 148 | 51 | – | – | – | – | 78 | 147 | 53 | 49 | 50,5 | 49 | 51,5 |

Продолжение прил. 4

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|----|---|---|---|---|----|-----|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 4,94 | 146 | 50 | – | – | – | – | 78 | 147 | 53 | 48 | 50 | 48 | 51 |
| 4,96 | 145 | 50 | – | – | – | – | 78 | 145 | 52 | 48 | 49,5 | 48 | 50,5 |
| 4,98 | 144 | 50 | – | – | – | – | 77 | 144 | 52 | 48 | 49 | 48 | 50 |
| 5 | 143 | 50 | – | – | – | – | 77 | 143 | 51 | 47 | 48,5 | 47 | 49,5 |
| 5,02 | 141 | – | – | – | – | – | 77 | – | 51 | 46 | 47,5 | 46 | 49 |
| 5,04 | 140 | – | – | – | – | – | 77 | – | 50 | 46 | 47,5 | 46 | 49 |
| 5,06 | 139 | – | – | – | – | – | 76 | – | 50 | 45,5 | 47,5 | 45,5 | 49 |
| 5,08 | 138 | – | – | – | – | – | 76 | – | 50 | 45 | 47 | 45 | 48,5 |
| 5,1 | 137 | – | – | – | – | – | 75 | – | 49 | 45 | 47 | 45 | 48 |
| 5,12 | 135 | – | – | – | – | – | 74 | – | 49 | 44 | 46 | 44 | 47,5 |
| 5,14 | 134 | – | – | – | – | – | 74 | – | 48 | 44 | 46 | 44 | 47 |
| 5,16 | 133 | – | – | – | – | – | 73 | – | 48 | 44 | 45,5 | 44 | 46,5 |
| 5,18 | 132 | – | – | – | – | – | 73 | – | 48 | 44 | 45 | 44 | 46 |
| 5,2 | 131 | – | – | – | – | – | 72 | – | 47 | 44 | 44,5 | 43 | 45,5 |
| 5,22 | 129 | – | – | – | – | – | 72 | – | 46,5 | 43 | 44 | 42,5 | 45 |
| 5,24 | 128 | – | – | – | – | – | 71 | – | 46 | 42,5 | 44 | 42 | 45 |
| 5,26 | 127 | – | – | – | – | – | 71 | – | 46 | 42 | 43 | 42 | 44,5 |
| 5,28 | 126 | – | – | – | – | – | 71 | – | 46 | 42 | 43 | 42 | 44 |
| 5,3 | 126 | – | – | – | – | – | 70 | – | 45 | 42 | 43 | 42 | 44 |
| 5,32 | 125 | – | – | – | – | – | 70 | – | 45 | 41 | 42,5 | 41 | 43,5 |

Продолжение прил. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|-----|---|---|---|---|---|----|---|------|----|------|----|------|
| 5,34 | 124 | – | – | – | – | – | 69 | – | 44 | 41 | 42 | 41 | 43 |
| 5,36 | 123 | – | – | – | – | – | 69 | – | 44 | 41 | 42 | 41 | 43 |
| 5,38 | 122 | – | – | – | – | – | 68 | – | 43,5 | 40 | 41 | 40 | 42,5 |
| 5,4 | 121 | – | – | – | – | – | 68 | – | 43,5 | 40 | 41 | 40 | 42,5 |
| 5,42 | 119 | – | – | – | – | – | 68 | – | 43,5 | 40 | 41 | 40 | 42 |
| 5,44 | 119 | – | – | – | – | – | 67 | – | 43 | 39 | 40,5 | 39 | 42 |
| 5,46 | 118 | – | – | – | – | – | 67 | – | 43 | 39 | 40 | 39 | 41,5 |
| 5,48 | 117 | – | – | – | – | – | 66 | – | 42 | 39 | 39,5 | 39 | 41 |
| 5,5 | 116 | – | – | – | – | – | 65 | – | 42 | 38 | 39 | 38 | 41 |
| 5,52 | 115 | – | – | – | – | – | 65 | – | 41,5 | 38 | 39 | 38 | 40,5 |
| 5,54 | 114 | – | – | – | – | – | 64 | – | 41 | 38 | 39 | 38 | 40,5 |
| 5,56 | 113 | – | – | – | – | – | 64 | – | 41 | 37 | 38,5 | 37 | 40 |
| 5,58 | 112 | – | – | – | – | – | 63 | – | 40 | 37 | 38 | 37 | 40 |
| 5,6 | 111 | – | – | – | – | – | 63 | – | 40 | 37 | 38 | 37 | 39 |
| 5,62 | 110 | – | – | – | – | – | 62 | – | 39,5 | 37 | 38 | 37 | – |
| 5,64 | 109 | – | – | – | – | – | 61 | – | 39 | 36 | 37 | 36 | – |
| 5,66 | 109 | – | – | – | – | – | 61 | – | 39 | 36 | 37 | 36 | – |
| 5,68 | 108 | – | – | – | – | – | 60 | – | 39 | 35 | 36 | 35 | – |
| 5,7 | 107 | – | – | – | – | – | 59 | – | 39 | 35 | 36 | 35 | – |
| 5,72 | 107 | – | – | – | – | – | 59 | – | 38 | 35 | 36 | 35 | – |

Окончание прил. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|-----|---|---|---|---|---|----|---|------|----|----|----|----|
| 5,74 | 106 | – | – | – | – | – | 59 | – | 38 | 35 | 36 | 35 | – |
| 5,76 | 105 | – | – | – | – | – | 58 | – | 38 | 35 | 36 | 35 | – |
| 5,78 | 104 | – | – | – | – | – | 58 | – | 37 | 34 | 35 | 34 | – |
| 5,8 | 103 | – | – | – | – | – | 57 | – | 37 | 34 | 35 | 34 | – |
| 5,82 | 102 | – | – | – | – | – | 56 | – | 37 | 34 | 34 | 34 | – |
| 5,84 | 101 | – | – | – | – | – | 56 | – | 37 | 34 | 35 | 34 | – |
| 5,86 | 101 | – | – | – | – | – | 56 | – | 37 | 34 | 35 | 34 | – |
| 5,88 | 100 | – | – | – | – | – | 55 | – | 36 | 33 | 34 | 33 | – |
| 5,9 | 99 | – | – | – | – | – | 54 | – | 36 | 33 | 34 | 33 | – |
| 5,92 | 98 | – | – | – | – | – | 54 | – | 35 | 32 | 33 | 32 | – |
| 5,94 | 98 | – | – | – | – | – | 54 | – | 35 | 32 | 33 | 32 | – |
| 5,96 | 97 | – | – | – | – | – | 53 | – | 35 | 32 | 33 | 32 | – |
| 6 | 96 | – | – | – | – | – | 52 | – | 34,5 | – | – | – | – |
| 6,05 | 94 | – | – | – | – | – | 51 | – | 34 | – | – | – | – |
| 6,1 | 92 | – | – | – | – | – | 49 | – | 33 | – | – | – | – |
| 6,15 | 90 | – | – | – | – | – | 48 | – | 32,5 | – | – | – | – |
| 6,2 | 87 | – | – | – | – | – | 46 | – | 32 | – | – | – | – |
| 6,25 | 85 | – | – | – | – | – | 44 | – | 31 | – | – | – | – |
| 6,3 | 83 | – | – | – | – | – | 43 | – | 30 | – | – | – | – |
| 6,4 | 81 | – | – | – | – | – | 42 | – | 29,5 | – | – | – | – |
| 6,5 | 79 | – | – | – | – | – | 39 | – | 29 | – | – | – | – |
| 6,6 | 77 | – | – | – | – | – | 37 | – | 28 | – | – | – | – |

Изверженные (магматические) горные породы

| Химический состав (SiO ₂ , %) | Минеральный состав | | Глубинные | Излившиеся горные породы | | | | |
|--|--------------------|-------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | | Полнокристаллические | Неполнокристаллические | Скрытокристаллические | Аморфные (стеклообразные) | | |
| | | | Зернистые | Порфировые, тонкозернистые | | Плотные | Пористые | |
| | | | | Древние | Новые | | Рыхлые | Сцементированные |
| Кислые (75...65) | Кварц | Ортоклаз | Гранит | Кварцевый порфир | Липарит | Вулканические стекла | Вулканические пеплы, пемзы, пески | Вулканические туфы, трассы, лавы |
| Средние (65...52) | | | Сиенит | Бескварцевый порфир | Трахит | | | |
| Основные (52...40) | Без кварца | Плагиоклазы | Диорит | Порфирит | Андезит | | | |
| | | | Габбро | Диабаз | Базальт | | | |

Классификация осадочных горных пород

| Механические осадки | | | Химические осадки | | Органогенные осадки | |
|---------------------|--------------------|-------------------------|--|---|-----------------------------|---|
| Размер частиц, мм | Рыхлые | Сцементированные | Карбонатные | Сульфатные | Карбонатные CaCO_3 | Кремнистые $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ |
| 100...1000 | Валуны Глыбы | | Известняки CaCO_3 Известковые туфы | Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Мел | Диатомит |
| 70...100 | Галька Дресва | | | | | |
| 5...70 | Гравий Ще- бень | Конгломераты Брекчии | CaCO_3 | Ангидрит CaSO_4 | | |
| 0,14...5 | Песок | Песчаники | Доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ | | Оолитовые известняки | Опока |
| 0,01...0,14 | Пылеватые | Леса | | | | |
| 0,001...0,01 | Глинистые | Аргиллиты | Магнезит MgCO | | | |

Метаморфические горные породы

| Метаморфическая порода | Исходная порода | Минеральный состав | Текстура/строение |
|------------------------|---|---|--|
| Мрамор | Известняки, доломитизированные известняки | Кальцит, иногда примеси доломита, магнезита | Массивная/зернисто-кристаллическое |
| Кварцит | Кремнистые песчаники | Кварц | Массивная, зернисто-кристаллическое |
| Гнейс | Гранит | Кварц, полевой шпат, слюда, иногда роговая обманка, авгит | Сланцевая/зернисто-кристаллическое, полосчатое |
| Сланцы глинистые и др. | Глины | Глинистые минералы, примеси кварца, хлорита | Сланцевая |

Характеристика минералов горных пород [5]

| Наименование минерала | Структура | Твердость | Спайность | Цвет | Истинная плотность, г/см ³ | Другие характерные признаки | Условия нахождения в природе |
|-------------------------------------|---|-----------|--|-----------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Группа 1. Минералы с твердостью 1–3 | | | | | | | |
| Каолинит | Аморфная зернистая | 1 | – | Белый, желтоватый | 2,6 | Излом землистый. Материал легко рассыпается, жирный на ощупь | В чистом виде |
| Гипс | Кристаллическая, зернистая; бывает пластинчатой и волокнистой | 1,5–2 | По одному направлению. В зернистых волокнистых массах не видна | Белый, желтоватый, розовый | 2,3 | Прозрачные кристаллы. Материал иногда волокнистый, хрупкий | То же |
| Мусковит | Кристаллическая, листовая | 1,5–2,5 | Отчетлива по одному направлению | Серебристый, белый, светло-желтый | 2,8 | Расщепляется на тончайшие прозрачные листочки большой упругости. Расщепляется на тонкие неломкие листочки | В граните, сиените, гнейсе, слюдяных сланцах |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------------------|--|-----|---------------------------------------|------------------------------|-----|---|---|
| Биотит | То же | 2–3 | То же | Черный, бурый, темно-зеленый | 2,8 | Расщепляется на тонкие неломкие листочки | То же |
| Группа II. Минералы с твердостью 3–4 | | | | | | | |
| Кальцит | Кристаллическая и зернисто-кристаллическая | 3 | Отчетлива в трех направлениях | Белый, серый, желтый | 2,7 | Прозрачен. При ударе распадается на ромбические кристаллы. Вскипает в холодном растворе соляной кислоты | В известняках, мраморе и других карбонатных породах |
| Доломит | Кристаллическая | 3–4 | Отчетливая | Белый, серый | 2,8 | В растворе соляной кислоты вскипает только в порошке при подогреве | Образует породу того же названия; в известняках |
| Группа III. Минералы с твердостью 5–6 | | | | | | | |
| Авгит | Кристаллическая | 5–6 | Есть | Черный и темно-зеленый | 3–4 | Просвечивается. Блеск стеклянный | Составная часть магматических пород |
| Роговая обманка | То же | 5–6 | Есть, более совершенная, чем у авгита | Черный и зелено-бурый | 3,1 | Отчетливая спайность в одном направлении | То же |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------------|-----------------|---|----------------------------------|--|-----|---|---|
| Группа IV. Минералы с твердостью 6–7 | | | | | | | |
| Ортоклаз | Кристаллическая | 6 | Отчетливая в двух направлениях | Белый, серый розовый, красный | 2,5 | На плоскостях спайности стеклянный блеск | Составная часть гранитов, сиенитов, порфиритов, гнейсов и др. |
| Анортит | То же | 6 | Совершенная по двум направлениям | Белый, желтоватый | 3,7 | На плоскостях спайности перламутровый блеск | Составная часть изверженных горных пород - габбро, базальт |
| Оливин | То же | 7 | Незаметна | Зеленый, желтый, бурый | 3,3 | Блеск стеклянный, излом раковистый | Габбро, лабрадорит |
| Кварц | То же | 7 | Нет | Бесцветный, белый, серый, черный, фиолетовый | 2,6 | Излом раковистый, острый | Составная часть гранитов, гнейсов, песков, песчаника и др. |

Основные показатели свойств горных пород [5]

| Наименование породы | Цвет | Минералы, входящие в состав породы. Структура породы | Средняя плотность, кг/м ³ | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % |
|---------------------------|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Изверженные горные породы | | | | | |
| Гранит | Серый, голубовато-серый, розовый и темно-красный | Кварц, полевой шпат, слюда. Кристаллическая | 2500...2900 | 100...300 | 0,1...1,0 |
| Диорит | Серо-зеленый до темно-зеленого | Полевой шпат, роговая обманка, иногда кварц. Кристаллическая | 2800...3000 | 150...280 | 0,2...1,0 |
| Сиенит | Серый до темно-красного | Полевой шпат, роговая обманка, слюда. Кристаллическая | 2700...2900 | 100...250 | 0,2...1,0 |
| Габбро | Темно-серый до черного | Полевой шпат, роговая обманка, оливин. Кристаллическая | 2900...3100 | 100...300 | 0,1...0,2 |
| Лабрадорит | Темный | Полевой шпат, авгит, оливин, лабрадорит. Кристаллическая | 2600...2900 | 100...250 | 0,2...1,0 |
| Диабаз | Серый до темно-серого | Полевой шпат и авгит. Кристаллическая. Мелкозернистая | 2800...3100 | 110...330 | 0,1...0,3 |
| Базальт | Темный, черный | Полевой шпат, авгит. Скрытокристаллическая | 2900...3300 | 200...400 | 0,1...4,0 |
| Туф вулканический | Розовый до фиолетового | SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ . Стекловазокристаллическая | 800...1800 | 4...20 | 4...40 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|----------------------------|--|-------------|-----------|------------|
| Осадочные горные породы | | | | | |
| Известняк плотный | Серый, желтый | Кальцит. Плотная, аморфная, частично кристаллическая | 1800...2600 | 25...100 | 1,0...30,0 |
| Известняк ракушечный | Желтовато-белый | Обломки раковины цементированы известковым цементом | 800...1600 | 1,15 | 6,0...30,0 |
| Песчаник | Белый до темного | Кварц. Зерна кварца соединены глиной, известью, кальцитом, кремнеземом и др. | 2300...2600 | 30...300 | 2...5 |
| Метаморфические горные породы | | | | | |
| Мрамор | Белый, розовый до красного | Кальцит и доломит. Зернисто-кристаллическая | 2600...2800 | 60...300 | 0,1...0,7 |
| Гнейс | Серый до красного | Кварц, полевой шпат, слюда. Сланцевая | 2400...2700 | 60...250 | 0,1...1,0 |
| Кварцит | Белый до темно-вишневого | Кварц. Кристаллическая | 2800...3100 | 200...450 | 0,1...0,2 |

**Физико-механические свойства скальных и полускальных пород
района Братского водохранилища [8]**

| Породы | Свойства | | | |
|--|------------------------------|---------------|-------------------|--|
| | Плотность, г/см ³ | Пористость, % | Водопоглощение, % | Прочность на сжатие в сухом состоянии, МПа |
| Диабаз неизменный | 3,09 | 1,89 | 0 | 185 |
| Диабаз трещиноватый, затронутый выветриванием | 3,05 | 1,4–2,6 | 0 | 125 |
| Доломит неизменный | 2,84 | 4,23 | 1,22 | 95 |
| Доломит трещиноватый, затронутый выветриванием | 2,83 | 13,0 | 1,20 | 58 |
| Известняк | 2,99 | 5,51 | 0,33 | 135 |
| Песчаник | 2,74 | 15,0 | 3,65 | 60 |
| Алевролит | 2,67 | 13,6 | – | 35 |

Примечание. В приложении использованы данные из книги “Братское водохранилище. Инженерная геология” АН СССР. М., 1963.

Классификация природных облицовочных пород
по прочности и твердости [8]

| Категория пород | Породы | Прочность, МПа | Твердость по шкале Мооса | Истираемость, г/см ² | Технологические свойства |
|-------------------------------|--|-------------------|--------------------------|---------------------------------|---|
| Низкопрочные, мягкие | Вулканические туфы (кроме фельзитового). | 5 | 1...2 | >2,00 | Легко обрабатываются стальным резцом; алмазными инструментами обрабатываются плохо |
| | Известняк-ракушечник. | 10 | | | |
| | Пористые известняки и доломиты. | 10 | | | |
| | Гипсовый и тальковый камень. | 15 | | | |
| | Вулканический, фельзитовый туф | 20 | | | |
| Средней прочности и твердости | Плотные известняки и доломиты. | От 20...25 до 100 | 3...5 | 0,18–1,98 | Обрабатываются стальным резцом; легко режутся абразивными, в том числе алмазными, инструментами |
| | Пористый базальт, песчаник. | 30 | | | |
| | Мрамор, конгломерат, брекчия, мраморизированный известняк. | 40 | | | |
| | Диабаз, порфирит, андезит, липарит, гнейс, трахит | 60...100 | | | |
| Прочные, твердые | Гранит, сиенит, габбро, кварцит, диорит, плотный базальт, лабрадорит | 100...500 | 6...7 | 0,05–0,78 | Не режутся стальным резцом, обрабатываются абразивными, в том числе алмазными, инструментами |

**Классификация горных пород
по категории обрабатываемости [8]**

| Горные породы | Категория |
|---|-----------|
| Гипс, известняки, ангидрит, пористые ракушечники, вулканические туфы, мраморы, мраморизованные известняки, травертины, доломиты | 1 |
| Туфы плотные | 2 |
| Мраморы и туфы с включениями кварца и других твердых минералов, туфы фельзитовые | 3 |
| Песчаники слабоцементированные, тешенит, базальт | 4 |
| Габбро, лабрадорит | 5 |
| Диабаз, габбро-диабаз, сиенит, гранодиорит | 6 |
| Гранит малопрочный | 7 |
| Гранит средней прочности | 8 |
| Граниты прочные, яшмы, кварциты, роговики | 9 |

Примечание. Под обрабатываемостью понимают объем трудозатрат на 1 м² выпускаемой продукции.

**Классификация природных облицовочных камней
по долговечности [8]**

| Горные породы | Категория долговечности | Долговечность, годы | | |
|--|--------------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| | | Начало разрушения | Угрожающее состояние | Конец разрушения |
| Цветные мраморы | Пониженной долговечности | 20...75 | 30...200 | 100...600 |
| Белый мрамор, плотный известняк и доломиты | Средней долговечности | 75...150 | 200...400 | 1200 |
| Граниты, лабрадориты и др. | Долговечные | 220...350 | 650...1000 | Более 1500 |
| Кварциты | Весьма долговечные | 650 | Более 1500 | – |

**Технические требования к горным породам
для облицовочных изделий [14]**

| Наименование горной породы | Норма | | |
|---|--|--|---|
| | Предел прочно- сти на сжатие в сухом состоянии, МПа (кгс/см ²), не менее | Коэффициент снижения прочности при насыщении водой, не менее | Марка по морозо- стойкости, циклы, не менее |
| Прочные породы | | | |
| Гранит, сиенит, габбро, кварцит, диорит, плот- ный базальт | 80 (800) | 0,8 | F50 |
| Породы средней прочности | | | |
| Лабрадорит, диабаз, пор- фирит, порфир, андезит, липарит, гнейс, трахит | 60 (600) | 0,7 | F50 |
| Мрамор, конгломерат, брекчия, мраморизован- ный известняк | 40 (400) | 0,7 | F25 |
| Низкопрочные породы | | | |
| Пористый базальт, пес- чаник | 30 (300) | 0,7 | F25 |
| Плотные известняк и доломит, травертин | 20 (200) | 0,65 | F25 |
| Вулканический фельзи- товый туф | 20 (200) | 0,7 | F15 |
| Пористые известняк и доломит | 10 (100) | 0,65 | F25 |
| Известняк-ракушечник | 10 (100) | 0,65 | F15 |
| Гипсовый камень | 15 (150) | 0,65 | Не нормируется |
| Вулканические туфы (кроме фельзитового) | 5(50) | 0,7 | F25 |

Примечания: 1. Допускается выпуск блоков с показателями физико-механических свойств ниже приведенных в прил. 8 при условии технико-экономического обоснования их производства и области применения получаемых облицовочных материалов. **2.** Требования по морозостойкости не предъявляют к блокам из изверженных горных пород, имеющих водопоглощение 0,5% и ниже, и к блокам, используемым для производства облицовочных материалов для внутренней облицовки.

Области применения горных пород

| Назначение | Вид материалов из камня | Рекомендуемые горные породы |
|---|---|--|
| Фундаменты | Бутовый камень, камни пиленные и колотые | Большинство пород, у которых коэффициент размягчения не менее 0,7 |
| Стены | Стеновые камни и блоки, песчаный камень | Известняки, доломиты, песчаник, туф вулканический, гипсовый камень |
| Облицовка наружная | Плиты, камни, профильные элементы | Гранит, сиенит, диорит, лабрадорит, габбро, базальт, вулканический туф, кварцит, мрамор, плотный известняк, песчаник |
| Облицовка внутренняя | Плиты, профильные элементы | Мрамор, известняк, гипсовый камень, конгломерат |
| Наружные лестницы и площадки, парапеты и ограждения | Ступени, плиты, блоки для парапетов, столбов и стенок | Гранит, диорит, сиенит, габбро, базальт, песчаник |
| Внутренние лестницы | Ступени, плиты для лестничных площадок и полов | Мрамор, гранит, лабрадорит |
| Дорожные покрытия | Камни бортовые, брусчатка, камень булыжный и колотый | Гранит, диорит, габбро, базальт, песчаник, известняк плотный |

Варианты заданий к изучению диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов

| | | | | | | | | | | |
|---------|-------------------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| C, % | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 3,0 | 4,6 | 5,0 |
| t, °C | 800 | 760 | 1440 | 1420 | 1400 | 800 | 820 | 1200 | 1000 | 1200 |
| Процесс | Нагрев | | | | | | | | | |
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| C, % | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 3,0 | 4,6 | 5,0 |
| t, °C | 800 | 760 | 1440 | 1420 | 1400 | 800 | 820 | 1200 | 1000 | 1200 |
| Процесс | Охлаждение | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Характеристика сталей для изготовления арматурной стали

| Класс арматурной стали | Обозначение по ранее действовавшей НТД | Номинальный размер, мм | Марка стали |
|------------------------|--|---------------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| A240 | A-I | 6...40 | Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп |
| A300 | A-II | 10...40 | Ст5сп, Ст5пс |
| | | 40...80 | 18Г2С |
| Ac300 | Ac-11 | 10...32 (36...40) | 10ГТ |
| A400 | A-III | 6...40 | 35ГС, 25Г2С |
| | | 6...22 | 32Г2Рпс |
| At400C | | 6...40 | Ст3сп, Ст3пс |
| At500C | | 6...40 | Ст5сп, Ст5пс |
| A600 | A-IV | 10...18 | 80С |
| | | (6...8) 10...32 (36...40) | 20ХГ2Ц |
| At600 | AT-IV | 10...40 | 20ГС |
| At600C | AT-IVC | | 25Г2С,35ГС,28С, 27ГС |
| At600K | AT-IVK | | 10ГС2,08Г2С,25С2Р |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|--------|---------------------------------|--|
| A800 | A-V | (6...8) 10...32 (36...40) | 23X2Г2Т |
| Ат800 | АТ-V | 10...32 | 20ГС,20ГС2,08Г2С, 10ГС2,28С,25Г2С, 22С |
| | | 18...32 | 35ГС,25С2Р,20ГС2 |
| Ат800К | АТ-VК | 18...32 | 35ГС,25С2Р |
| A1000 | A-VI | 10...22 | 22X2Г2АЮ, 22X2Г2Р, 20X2Г2СР |
| Ат1000 | АТ-VI | 10...32 | 20ГС,20ГС2,25С2Р |
| Ат1000 | АТ-VIK | | 20ХГС2 |
| Ат 1200 | АТ-VII | 10...32 | 30ХС2 |

Примечания:

1. Размеры, указанные в скобках, изготовляют по согласованию с потребителем.
2. Буквы Ст означают сталь, цифры от 0 до 6 – условный номер марки в зависимости от химического состава стали. Для обозначения степени раскисления стали после номера марки добавляют индексы: кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная.

Механические свойства арматурной стали

| Класс арматурной стали | Предел текучести σ_T | | Временное сопротивление разрыву σ_B | | Относительное удлинение δ_5 , % | Равномерное удлинение δ_p , % | Ударная вязкость при температуре -60°C | | Испытание на изгиб в холодном состоянии (c – толщина оправки, d – диаметр стержня) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|--|---------------------|--|--------------------------------------|--|-----------------------|---|
| | Н/мм ² | кгс/мм ² | Н/мм ² | кгс/мм ² | | | МДж/м ² | кгс·м/см ² | |
| | не менее | | | | | | | | |
| A240 (A-I) | 235 | 24 | 373 | 38 | 25 | — | — | — | 180°; $c = d$ |
| A300 (A-II) | 295 | 30 | 490 | 50 | 19 | — | — | — | 180°; $c = 3d$ |
| Aс300 (Ac-II) | 295 | 30 | 441 | 45 | 25 | — | 0,5 | 5 | 180°; $c = d$ |
| A400 (A-III) | 390 | 40 | 590 | 60 | 14 | — | — | — | 90°; $c = 3d$ |
| A600 (A-IV) | 590 | 60 | 883 | 90 | 6 | 2 | — | — | 45°; $c = 5d$ |
| A800 (A-V) | 785 | 80 | 1030 | 105 | 7 | 2 | — | — | 45°; $c = 5d$ |
| A1000 (A-VI) | 980 | 100 | 1230 | 125 | 6 | 2 | — | — | 45°; $c = 5d$ |

Механические свойства арматурной термомеханически упрочненной стали

| Класс арматурной стали | Номинальные диаметры, мм | Температура электронагрева, °С | Механические свойства | | | | Испытание на изгиб в холодном состоянии, градус | Диаметр оправки (d – номинальный диаметр стержня) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------|--|---|----------------------------|------------|---|--|
| | | | Временное сопротивление разрыву σ_B , Н/мм ² | Условный или физический предел текучести $\sigma_{0,2}(\sigma_T)$, Н/мм ² | Относительное удлинение, % | | | |
| | | | | | δ_5 | δ_p | | |
| | | | не менее | | | | | |
| Ат400 | 6...40 | – | 550 | 440 | 16 | – | 90 | 3d |
| Ат500 | 6...40 | – | 600 | 500 | 14 | – | 90 | 3d |
| Ат600 | 10...40 | 400 | 800 | 600 | 12 | 4 | 45 | 5d |
| Ат800 | 10...32* | 400 | 1000 | 800 | 8 | 2 | 45 | 5d |
| Ат100 | 10...32 | 450 | 1250 | 1000 | 7 | 2 | 45 | 5d |
| Ат1200 | 10...32 | 450 | 1450 | 1200 | 6 | 2 | 45 | 5d |

Примечание. – для Ат800К – диаметр 18 – 32 мм

Химический состав сталей

| Марка стали | Содержание элементов, % | | | | | | |
|--|-------------------------|------------|--------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| | Углерод | Марганец | Кремний | | | Фосфор, не более | Сера, не бо- лее |
| | | | в кипящей стали | в полуспо- койной стали | в спокой- ной стали | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Мартеновская и конвертерная стали | | | | | | | |
| МСт.0, КСт.0 | Не более 0,23 | – | – | – | – | 0,07 | 0,06 |
| МСт.1, КСт.1 | 0,06...0,12 | 0,25...0,5 | Не более 0,05 | 0,05...0,15 | 0,12...0,3 | 0,045 | 0,055 |
| МСт.2, КСт.2 | 0,09...0,15 | 0,25...0,5 | Не более 0,07 | 0,05...0,15 | 0,12...0,3 | 0,045 | 0,055 |
| МСт.3кп, КСт.3кп | 0,14...0,22 | 0,3...0,6 | Не более 0,07 | – | – | 0,045 | 0,055 |
| МСт.3сп, КСт.3сп | | | | | | | |
| МСт.3пс, КСт.3пс | 0,14...0,22 | 0,4...0,65 | – | 0,05...0,15 | 0,12...0,3 | 0,045 | 0,055 |
| МСт.4, КСт.4 | 0,18...0,27 | 0,4...0,65 | – | 0,05...0,15 | 0,12...0,3 | 0,045 | 0,055 |
| МСт.5, КСт.5 | 0,28...0,37 | 0,4...0,7 | Не более 0,07 | 0,05...0,15 | 0,12...0,3 | 0,045 | 0,055 |
| МСт.6, КСт.6 | 0,38...0,49 | 0,5...0,8 | – | 0,05...0,15 | 0,15...0,35 | 0,045 | 0,055 |
| МСт.7, КСт.7 | 0,5...0,62 | 0,5...0,8 | – | 0,05...0,15 | 0,15...0,35 | 0,045 | 0,055 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------|------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------|------|
| Бессемеровская сталь | | | | | | | |
| БСт.0 | Не более 0,14 | – | – | – | – | 0,09 | 0,07 |
| БСт.3 | Не более 0,12 | 0,25...0,55 | Не более 0,07 | 0,05...0,15 | 0,12...0,35 | 0,08 | 0,06 |
| БСт.4 | 0,12...0,2 | 0,35...0,55 | Не более 0,07 | 0,05...0,15 | 0,12...0,35 | 0,08 | 0,06 |
| БСт.5 | 0,17...0,03 | 0,5...0,8 | – | 0,05...0,15 | 0,12...0,35 | 0,08 | 0,06 |
| БСт.6 | 0,26...0,4 | 0,6...0,9 | – | 0,05...0,15 | 0,12...0,35 | 0,08 | 0,06 |

Рекомендации к оформлению лабораторных отчетов

| Наименование работы | Цель работы | Материалы и оборудование | Рекомендации по выводам |
|---|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Взаимосвязь состава и строения строительных материалов с их свойствами | Методы определения основных физических и механических свойств строительных материалов и условий их рационального применения | Пикнометр, весы квадрантные и гидростатические, вакуум-шкаф, стеклянный стакан (150...250мл), сушильный шкаф, агатовая или фарфоровая ступка, стеклянная воронка, гидравлический пресс, копер Педжа, образцы строительных материалов | Выполнить комплексную оценку качества строительного материала по его основным свойствам, определить условие эксплуатации в зданиях и сооружениях |
| 2.1. Керамические стеновые и теплоизоляционные изделия | Ознакомление с методикой определения марки по прочности керамического кирпича и марки по средней плотности теплоизоляционного диатомитового кирпича | Гидравлический пресс, три съемных цилиндрических катка диаметром 20 – 30 мм, металлическая линейка, войлок технический или пластина резинотканевая толщиной 5 – 10 мм (или картон толщиной 3 – 5 мм), 10 стеновых кирпичей (или 5 камней), 3 диатомитовых кирпича | Определить марку стеновых и теплоизоляционных кирпичей |

| | | | |
|-------------------------------|--|---|--|
| <p>2.2. Строительный гипс</p> | <p>Установить соответствие гипса требованиям ГОСТ 125–79 и определить свойства гипсового вяжущего при различном значении водогипсового отношения</p> | <p>Гипс, сито № 02, вискозиметр Суттарда, сферические чаши, мастерки, прибор Вика, секундомер, формы 4×4×16 см, прибор МИИ-100, гидравлический пресс, весы, стальной нож, металлическая линейка, штангенциркуль</p> | <p>Определить марку гипса и выявить зависимость прочности на сжатие от В/Г</p> |
|-------------------------------|--|---|--|

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|--|---|--|
| 2.3. Портландцемент | Установить соответствие цемента требованиям ГОСТ 10178–85 | Цемент, песок, прибор Вика, стекло, ванна с гидравлическим затвором, сферические чаши, мастерки, штыковка, металлическая линейка, секундомер, формы 4×4×16 см, весы, стальной нож, прибор МИИ-100, гидравлический пресс, встряхивающий столик, мерный стеклянный цилиндр, штангенциркуль | Дать заключение о соответствии цемента требованиям ГОСТ 10178–85 |
| 2.4. Проектирование состава тяжелого бетона | Подобрать состав бетона заданной марки на заполнителях, свойства которых были изучены в п. 3.1 | Портландцемент, песок, щебень, мерные цилиндры (1 – 5 л), весы, тазы, чашки для взвешивания, бетономеситель, конус для определения подвижности бетонной смеси, технический вискозиметр, формы для изготовления бетонных образцов, линейка, штангенциркуль, пропарочная камера, гидравлический пресс | Оценить свойства бетона на соответствие заданным характеристикам |
| 2.5. Строительные растворы | Подбор состава строительных растворов с требуемыми физико-механическими характеристиками | Цемент, песок, глиняное (0,6:1) или известковое (1:1) тесто, конус СтройЦНИЛ, формы-балочки 4×4×16 см, формы кубы 7×7×7, чаша сферическая, весы | Оценить соответствие свойств строительного раствора заданным характеристикам |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|---|--|
| 2.6.1. Твердость металлов | Ознакомление с устройством приборов и методиками измерения твердости по Бринеллю и Роквеллу | Автоматический рычажный пресс Бринелля, твердомер Роквелла, образцы сплавов, микроскоп для измерения диаметра отпечатка, наждачное точило или напильник | Определить значение твердости, указать расчетное значение предела прочности и марку стали |
| 2.6.2. Ударная вязкость | Ознакомление с устройством маятникового копра и определение величины ударной вязкости | Маятниковый копр, образцы для испытания на удар, штангенциркуль | Определить работу излома и указать ударную вязкость, дать характеристику излома |
| 2.6.3. Испытание арматурной стали на растяжение | Ознакомление с устройством разрывной машины и методикой испытания стали на растяжение, определение предела текучести и предела прочности, относительного удлинения и марки стали | Разрывная машина, тензометры, образцы арматурной стали круглого и периодического профиля, технические весы, штангенциркуль, металлическая линейка | Определить предел текучести, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение и сделать вывод о марке исследованной стали |
| 2.6.4. Изучение структуры сплавов системы «железо – карбид железа» | Изучить диаграмму состояния сплавов Fe – Fe ₃ C, научиться с помощью диаграммы определять фазовый состав сплава в зависимости от его химического состава и температуры | Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов, варианты заданий (приложение 16) | Описать превращения в сплаве при нагреве или охлаждении в соответствии с заданием, указать ожидаемые свойства сплава, учитывая свойства структурных составляющих |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------------|--|---|--|
| 3.1. Нерудные зернистые материалы | Изучение свойств природного песка и крупного заполнителя, методов их испытаний и соответствия требованиям ГОСТ 8735–88 и ГОСТ 8267–82 | Песок, гравий, щебень, 3% - ный раствор NaOH, пикнометр (100мл), мерный цилиндр (1л), металлическая линейка, сосуд для отмучивания песка, стандартные наборы сит мелкого и крупного заполнителей, квадрантные весы, сушильный шкаф, вакуум-шкаф, весы торговые | Оценить пригодность заполнителя для использования при изготовлении тяжелого бетона |
| 3.2. Древесина | Ознакомление с устройством приборов и методами основными свойств древесины | Образцы древесины, стеклянные бюксы с крышками, аналитические весы, сушильный шкаф, эксикатор, хлористый кальций или серная кислота (94% - ная), психрометр, металлическая линейка, дистиллированная вода, фильтровальная бумага, гидравлический пресс, приспособление для испытания древесины на сжатие вдоль волокон, приспособление для испытания древесины на статический изгиб | Провести сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений прочности и средней плотности, сопоставить их со стандартными (справочными) показателями |
| 3.3. Природные каменные материалы | Определить происхождение, минеральный состав, основные свойства природных каменных материалов и установить области их применения в строительстве | Коллекция минералов и горных пород, лупа, стальная игла или стальной нож, шкала твердости, линейка, стеклянная пластинка | Определить петрографические характеристики, отразить технические требования и области применения заданных природных каменных материалов, а также пути повышения их стойкости |

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. Взаимосвязь состава и строения материалов с их свойствами | 4 |
| 1.1. Виды нормативной документации. Классификация материалов и их свойств..... | 8 |
| 1.2. Физические свойства..... | 10 |
| 1.2.1. Параметры состояния..... | 10 |
| 1.2.2. Гидрофизические свойства..... | 13 |
| 1.2.3. Теплофизические свойства..... | 17 |
| 1.3 Механические свойства | 20 |
| 1.4. Химические и физико-химические свойства | 27 |
| 1.5. Технологические свойства..... | 29 |
| 1.6. Методы определения физических свойств материалов..... | 30 |
| 1.6.1. Определение параметров состояния..... | 30 |
| 1.6.2. Определение пористости. | 34 |
| 1.6.3. Оценка теплопроводности..... | 34 |
| 1.6.4. Определение гидрофизических свойств..... | 35 |
| 1.7. Методы определения механических свойств..... | 37 |
| 1.7.1. Определение предела прочности при сжатии и растяжении..... | 37 |
| 1.7.2. Определение сопротивления удару | 38 |
| 1.7.3. Определение коэффициента конструктивного качества | 38 |
| 2. Определение свойств искусственных строительных материалов и изделий при различных способах омоноличивания | 39 |
| 2.1. Керамические стеновые и теплоизоляционные изделия | 39 |
| 2.1.1. Прочность при сжатии | 42 |
| 2.1.2. Прочность при изгибе | 44 |
| 2.1.3. Определение прочности отдельных гранул керамзита..... | 45 |
| 2.2. Строительный гипс..... | 47 |
| 2.2.1. Определение нормальной плотности гипсового теста..... | 49 |
| 2.2.2. Определение сроков схватывания гипсового теста..... | 51 |
| 2.2.3. Определение прочностных характеристик и оценка водостойкости..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| 2.3. Портландцемент..... | 54 |
| 2.3.1. Определение нормальной густоты цементного теста | 55 |
| 2.3.2. Определение равномерности изменения объема цемента при твердении | 56 |
| 2.3.3. Определение сроков схватывания цементного теста | 59 |
| 2.3.4. Определение марки цемента..... | 61 |
| 2.4. Проектирование состава тяжелого бетона | 64 |
| 2.5. Строительные растворы | 72 |
| 2.5.1. Подвижность растворной смеси..... | 73 |
| 2.5.2. Водоудерживающая способность растворной смеси | 74 |
| 2.5.3. Предел прочности при сжатии | 75 |
| 2.5.4. Морозостойкость | 76 |
| 2.5.5. Подбор состава строительного раствора..... | 77 |
| 2.6. Металлы и сплавы | 78 |
| 2.6.1. Твердость металлов | 81 |
| 2.6.1.1. Испытание на твердость по Бринеллю | 81 |
| 2.6.1.2. Испытание на твердость по Роквеллу..... | 84 |
| 2.6.2. Ударная вязкость | 86 |
| 2.6.3. Испытания арматурной стали на растяжение | 88 |
| 2.6.4. Изучение структуры сплавов системы «железо-карбид железа» | 91 |
| 3. Определение свойств природных строительных материалов.. | 100 |
| 3.1. Нерудные зернистые материалы | 100 |
| 3.1.2. Насыпная плотность | 103 |
| 3.1.3. Пустотность..... | 104 |
| 3.1.4. Влажность | 104 |
| 3.1.5. Содержание пылевидных примесей..... | 105 |
| 3.1.6. Содержание органических примесей..... | 107 |
| 3.1.7. Зерновой состав | 108 |
| 3.1.8. Расчет удельной поверхности песка | 113 |
| 3.1.9. Содержание в щебне (гравии) пластинчатых и игловатых зерен | 114 |
| 3.1.10. Дробимость щебня (гравия)..... | 115 |
| 3.2. Древесина | 116 |
| 3.2.1. Влажность | 117 |
| 3.2.2. Усушка..... | 121 |
| 3.2.3. Плотность | 123 |
| 3.2.4. Определение содержания поздней древесины..... | 126 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.5. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон древесины | 127 |
| 3.2.6. Предела прочности древесины при статическом изгибе | 130 |
| 3.2.7. Краткие сведения о пороках древесины..... | 133 |
| 3.3. Природные каменные материалы | 133 |
| 3.3.1. Петрографическая характеристика | 135 |
| 3.3.2. Эксплуатационно-технические свойства горных пород..... | 140 |
| Заключение..... | 143 |
| Литература..... | 144 |
| Приложение 1 – 21..... | 147 |

Анна Владимировна Косых
Наталья Алексеевна Лохова
Ирина Альбертовна Макарова

Материаловедение.
Технология конструкционных материалов

**ИСКУССТВЕННЫЕ И ПРИРОДНЫЕ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

Учебное пособие

Подписано в печать 26.09.03
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная
Печать трафаретная
Уч.-изд. л. 11,7. Усл. печ. л. 11,7
Тираж 200 экз. Заказ

Отпечатано в РИО ГОУ ВПО «БрГТУ»
665709, Братск, ул. Макаренко, 40
ГОУ ВПО «Братский государственный технический университет»

А.В. Косых, Н.А. Лохова, И.А. Макарова

**Материаловедение.
Технология конструкционных материалов**

