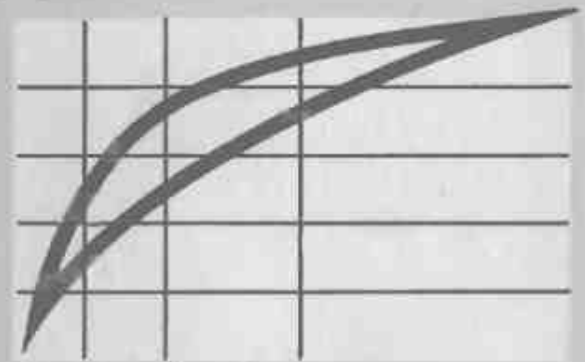


Э. Г. Мурадов

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ И СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ



Э. Г. Мурадов

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ И СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-
техническому образованию
в качестве учебного пособия
для средних профессионально-
технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1987

ББК 38.33
М91
УДК 693.542

Рецензенты: *В.И. Савин*, канд. техн. наук, зав. сектором легких бетонов НИИ бетона и железобетона; *Э.Б. Мадорский*, канд. техн. наук, главный технолог объединения "Мосстройконструкция".

Мурадов Э.Г.

М91 Материалы для приготовления бетонной смеси и строительного раствора: Учеб. пособие для СПТУ. — М.: Высш. шк., 1987. — 111 с.: ил.

В книге рассмотрены основные свойства материалов, применяемых для приготовления строительного раствора и бетонной смеси (вяжущих, заполнителей, воды и специальных добавок), бетонных смесей и затвердевшего бетона. Приведены факторы, влияющие на свойства бетона.

Учебное пособие для подготовки в средних профтехучилищах машинистов бетоно-растворосмесителей и бетоно-растворонасосных установок. Может быть использовано при профессиональном обучении рабочих на производстве.

М 3203000000 (4307000000) — 295 115 — 87
052 (01) — 87

ББК 38.33
6С3

© Издательство "Высшая школа", 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс "Материаловедение" является базисным для подготовки квалифицированных машинистов бетоно-растворосмесителей и бетоно-растворонасосных установок. Качество бетонной смеси зависит в первую очередь от свойств использованных для ее изготовления материалов. Поэтому знание материалов, их технологических особенностей — необходимое условие эффективной работы машинистов, занятых приготовлением и транспортированием бетонных смесей.

Цель учебника — дать молодому рабочему необходимые сведения о материалах, применяемых для приготовления бетонной смеси и строительного раствора. Технологические и эксплуатационные свойства материалов зависят от особенностей их состава и структуры. Поэтому в учебник введены сведения об основных характеристиках материалов, их влиянии на качество бетонной смеси и бетона.

В учебнике, построенном в соответствии с программой курса "Материаловедение", последовательно рассмотрены свойства материалов, требования к качеству компонентов для изготовления бетона, приведены необходимые данные о бетонных смесях и строительном растворе. Дано развернутое представление о многообразных видах бетона, используемых в современном строительстве. Изложены основные понятия об эффективных видах бетона — легком, ячеистом, бетонах специального назначения, применение которых способствует техническому прогрессу в строительстве.

Прослежена взаимосвязь между качеством исходных материалов, составомготавливаемых композиций, однородностью смешивания компонентов и прочностью, стойкостью, экономичностью затвердевшего бетона и строительного раствора. Выявлены особенности состава смесей, предназначенных для перекачивания бетононасосами. Рассмотрены пути технического прогресса применительно к изготовлению бетонов и растворов: экономное расходование цемента, использование попутных продуктов промышленности, применение пластифицирующих добавок, тщательная подготовка заполнителей. С учетом специфики профессий даны необходимые сведения о визуальной оценке качества и пригодности составляющих материалов, а также качества приготовленных смесей.

Для лучшего усвоения материала рекомендуется после изучения отдельных разделов курса ответить на контрольные вопросы, помещенные в конце каждой главы. Кроме того, теоретические знания необходимо закреплять на лабораторных занятиях и в ходе производственного обучения.

Автор

Решениями XXVII съезда КПСС предусмотрены меры по кардинальному повышению эффективности строительства. Объем капитальных вложений в строительство увеличится в двенадцатой пятилетке на 18...22 процента. Будет осуществляться дальнейшая индустриализация строительного производства путем широкого использования при возведении сооружений элементов заводского изготовления. Предусмотрено ускоренное развитие комплексной механизации строительных и монтажных работ, замена на отделочных работах традиционных трудоемких процессов современными индустриальными методами. Намечено сократить на 25 процентов объем работ, требующих ручного труда, повысить производительность труда в строительстве к 1990 г. на 16...17 процентов.

В двенадцатой пятилетке дальнейшее развитие получит и промышленность строительных материалов. Производство цемента достигнет к 1990 г. 140...142 млн. т, будет улучшено его качество. Ускоренными темпами намечено развивать производство эффективных материалов: легких бетонов, теплоизоляционных материалов, полимерных материалов и изделий. Будет отдано предпочтение технологиям изготовления материалов, обеспечивающим экономное расходование энергетических и материальных ресурсов. Например, развивается производство портландцемента сухим способом, позволяющим экономить 25...50 процентов топлива и электроэнергии по сравнению с мокрым способом.

Использование материалов для возведения построек различного функционального назначения известно человечеству с древнейших времен. На начальных этапах цивилизации применяли такие материалы, которые не требовали значительных усилий для придания им заданной формы: древесину и природные камни, необожженную глину. Развитие строительной техники и технологии способствовало совершенствованию качества материалов, расширению их номенклатуры, порождая новые архитектурные формы. С открытием простейших вяжущих веществ — строительного гипса и воздушной извести — появилась возможность изготавливать материалы композиционного типа, т.е. соединением вяжущего с сыпучими компонентами — песком и гравием. Получаемые таким образом бетоны и строительные растворы были известны уже в эпоху Древнего Рима и цивилизации индейцев майя. Однако применение этих бетонов ограничивалось недостаточной водостойкостью гипса и извести.

Новый этап в развитии строительных материалов начался с изобретения в XIX в. гидравлического вяжущего — портландцемента. Появилась возможность изготавливать водостойкие бетоны и строительные растворы, что существенно расширило технические возможности строительства.

Наше время характеризуется бурным развитием промышленности строительных материалов. Наряду с традиционными возрастает применение новых материалов. Механические способы переработки сырья все более вытесняются современными физико-химическими методами, при которых для формирования свойств строительных материалов исполь-

зуется скрытая химическая энергия веществ. Это позволяет сократить непроизводительные затраты труда, топлива и электроэнергии, присущие механическим методам обработки сырья.

Строительные материалы, изделия и конструкции представляют собой материальную основу строительства. Затраты на них составляют в среднем около 50 процентов общей стоимости строительного-монтажных работ. Следовательно, грамотное и рациональное расходование материалов дает возможность существенно сократить стоимость строительства в целом. Подсчитано, что каждый процент сбережения затрат на строительные материалы и изделия приносит нашей стране ежегодную экономию более 400 млн. руб.

В процессе эксплуатации строительного сооружения материалы, из которых выполнены конструкции, подвергаются действию механических нагрузок и физико-химическому воздействию окружающей среды. Механические нагрузки — вес конструкций, оборудования и производственной мебели, людей, находящихся в помещениях, вызывают в материале деформации и внутренние напряжения. Поэтому при проектировании зданий и сооружений необходимо знать точные количественные характеристики прочности и деформативности применяемых материалов. Эти характеристики называют механическими свойствами.

Способность сопротивляться агрессивным физическим и химическим воздействиям окружающей среды характеризует стойкость материалов. К агрессивным воздействиям относят влияние некоторых газов, находящихся в атмосфере, воды и растворенных в ней веществ, высоких и низких температур, солнечной радиации, колебаний влажности. В результате этих воздействий материалы постепенно разрушаются.

С учетом условий работы в сооружении все строительные материалы по назначению можно разделить на две группы: материалы универсального типа и материалы специального назначения.

Материалы универсального типа способны воспринимать значительные нагрузки, одновременно выполняя и защитные функции. Сюда относят природные камни, искусственные каменные материалы (бетон, строительный раствор, керамические изделия, стекло), материалы из древесины, металлы, конструкционные пластмассы.

Материалы специального назначения служат для защиты строительных конструкций от вредного влияния окружающей среды. Их использование позволяет создавать внутри сооружения необходимые условия комфорта, сокращает затраты топлива и электроэнергии в течение всего срока эксплуатации сооружения и в ряде случаев увеличивает стойкость и долговечность конструкций. В эту группу входят изделия для тепловой и акустической защиты конструкций, гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие материалы и изделия, материалы для защиты от коррозии и некоторые другие.

Бетон и строительный раствор справедливо относят к важнейшим материалам современного строительства. Широкое использование бетона объясняется многими его преимуществами. К их числу относятся следующие.

Большая сырьевая база. Значительную часть объема бетона (до 85... 90 процентов) занимают песок и крупный заполнитель (щебень или гравий), запасы которых есть практически во всех регионах страны. В качестве заполнителей могут быть использованы попутные продукты и отходы других отраслей промышленности — зола ТЭС, металлургические шлаки.

Простота переработки сырья. Технология изготовления бетона и изделий из него связана с применением несложных механизмов и требует сравнительно малых затрат энергии. При твердении бетона используется химическая энергия вяжущего вещества (цемента). Все это позволяет существенно снизить стоимость строительных работ.

Широкий диапазон свойств получаемых изделий. Используя для изготовления бетона разнообразные сырьевые материалы и разные технологические приемы, можно значительно изменять свойства затвердевшего бетона. Так, плотность колеблется от 300 до 4500 кг/м³, прочность при сжатии — от 1,5 до 80 МПа. Бетон — один из наиболее долговечных строительных материалов, из него можно изготавливать и несущие, и ограждающие, и теплоизоляционные изделия и конструкции. Универсальность свойств позволяет дифференцированно подходить к выбору вида бетона для конкретной конструкции, что в конечном итоге сокращает материалоемкость строительства.

Возможность изготовления крупноразмерных индустриальных изделий. Многие материалы в силу особенностей физического строения и свойств не допускают изготовления строительных изделий большого размера. В природных каменных материалах главным препятствием является трещиноватость горных пород, в строительной керамике — большие и неравномерные усадочные деформации в процессе сушки и обжига. В отличие от этих материалов бетон равномерно затвердевает во всем объеме конструкции, сохраняя монолитность и одинаковые свойства по всем направлениям. Кроме того, он хорошо сочетается со стальной арматурой, что позволяет изготавливать не только сжимаемые, но и изгибаемые несущие конструкции. Поскольку бетон при твердении претерпевает незначительные деформации, нетрудно получать изделия с точными размерами. Все это дает возможность изготавливать бетонные и железобетонные крупноразмерные элементы — крупные блоки, панели стен и перекрытий, колонны, балки, применение которых повышает производительность труда на стройках, сводит процесс возведения сооружений к монтажным работам. Таким образом, снижается трудоемкость строительства, т.е. затраты труда на единицу строительной продукции (например, на 1 м² жилой площади).

Архитектурная выразительность. Благодаря пластичности бетонной смеси можно получать изделия разнообразных форм. Необходимая фактура бетонной поверхности достигается при использовании различной опалубки. Так, применение нестроганой дощатой опалубки создает грубую фактуру бетона, а сопряжение досок внахлестку вызывает на бетонной поверхности эффект светотени. При использовании белого и цветных

цементов получают изделия практически любого цвета — от белого до черного. Наконец, с помощью механической или физико-химической обработки можно снимать с поверхности цементную пленку и тем самым обнажать заполнители, создавая изделия красивой фактуры.

Технический прогресс в промышленности строительных материалов обусловлен требованиями повышения эффективности строительства. Эта отрасль народного хозяйства отличается большой материалоемкостью и трудоемкостью продукции. Для производства строительных материалов в СССР ежегодно добывают и перерабатывают более 2 млрд. т сырья — больше, чем в любой другой отрасли. Несмотря на широкое распространение средств комплексной механизации доля ручного труда остается все еще большой. Поэтому производительность труда в строительстве гораздо ниже, чем в машиностроении, радиоэлектронике и ряде других отраслей.

Таким образом, становится актуальным производство материалов, которые позволяют сокращать трудозатраты в строительстве, существенно снижать его материалоемкость. Это дает возможность уменьшать затраты на транспортирование, изготавливать укрупненные конструкции, из которых можно в короткие сроки монтировать здания и сооружения.

Особенно большое значение приобретает проблема использования побочных продуктов и отходов других отраслей для изготовления строительных материалов. В частности, металлургические шлаки и пылевидные золы теплоэлектростанций целесообразно применять для изготовления специальных цементов, а также в качестве заполнителей в составе бетонов и строительных растворов. Это сделает строительные изделия более дешевыми. Вместе с тем будут постепенно высвобождаться занятые золошлаковыми отвалами ценные сельскохозяйственные угодья, что имеет большое экологическое значение.

К важным задачам относится экономное использование стали, цемента, древесины и других строительных материалов, что достигается не только в результате бережного расходования материалов, но и применения эффективных конструкторско-технологических решений, совершенствования качества материалов путем модифицирования их структуры, введения в их состав специальных добавок. Решениями XXVII съезда КПСС намечено снизить к 1990 г. удельный расход проката черных металлов в строительстве на 14...16 процентов, цемента — на 10...12, лесных материалов на 12...14 процентов.

Партия и правительство уделяют огромное внимание подготовке квалифицированных рабочих кадров. В Проекте ЦК КПСС "Основные направления перестройки высшего и среднего специального образования в стране" указано на необходимость совершенствовать систему профессионально-технического образования и поднимать качество обучения будущих специалистов. Настоящий учебник поможет им овладеть глубокими и прочными знаниями, выработать высокое профессиональное мастерство, творческое отношение к труду.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Строительные материалы, как и все окружающие нас предметы и явления, обладают рядом признаков и характеристик, которые проявляются в большей или меньшей степени. По совокупности этих признаков и характеристик, отражающих свойства материалов, судят о качестве продукции.

Диалектическую природу качества подчеркивал Ф.Энгельс: "Во-первых, всякое качество имеет бесконечно много количественных градаций, например оттенки цветов, жесткость и мягкость, долговечность и т.д., и, хотя они качественно различны, они доступны измерению и познанию.

Во-вторых, существуют не качества, а только вещи, обладающие качествами, и притом бесконечно многими качествами"¹.

Из всего разнообразия присущих каждому предмету или материалу свойств для оценки качества выбирают только те, которые определяют пригодность продукции при использовании по прямому назначению. Например, для бетона важны такие свойства, как прочность, плотность, долговечность, водонепроницаемость, теплопроводность. Некоторые другие характеристики, в частности цвет, для конструктивных бетонов не имеют никакого значения. Наоборот, цвет для отделочных материалов — это главное свойство, а теплопроводность второстепенное.

Все свойства строительных материалов подразделяют на следующие группы.

Физические свойства. Данную группу составляют параметры физического состояния материалов и свойства, определяющие отношение материалов к различным физическим процессам. К первым относят плотность и пористость материала, его химический, фазовый и минеральный состав, степень измельчения порошков, ко вторым — гидрофизические свойства (водопоглощение, влажность, водонепроницаемость), теплофизические (теплопроводность, теплоемкость, температурное расширение), стойкость против физической коррозии (водостойкость, морозостойкость) и некоторые другие.

Механические свойства. В эту группу входят характеристики, отражающие отношение материала к действию механических нагрузок: прочность, твердость, деформативность, упругость, пластичность, хрупкость, истираемость.

Химические свойства. Данная группа включает в себя свойства, характеризующие стойкость материала к разрушающим химическим воздействиям окружающей среды (коррозионная стойкость), а также способность материала к химическим превращениям (например, способность цемента после затворения водой самопроизвольно затвердевать в прочное камневидное тело).

В учебном пособии химические свойства материалов рассмотрены при изложении процессов приготовления бетонной смеси и строительного раствора, а также при описании коррозии цементного камня.

Для численного определения свойств используют результаты испытания стандартных образцов строительных материалов. Методы испытаний регламентируют Государственные стандарты СССР (ГОСТы), требования которых должны неукоснительно выполняться на всех стройках. Стандарты в области строительства и строительных материалов утверждает Государственный строительный комитет СССР (Госстрой СССР).

Стандарты содержат всесторонние требования к качеству продукции: технические условия, типы и основные параметры продукции, методы испытаний, правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Соответствие свойств материалов указанным в стандартах параметрам — залог высокого качества продукции.

Свойства материалов зависят от их состава и строения. Различают химический, минеральный и фазовый состав.

Химический состав, выражаемый процентным содержанием различных оксидов, влияет на химическую стойкость, огнестойкость, механические свойства материала.

Минеральный состав показывает, какие именно минералы и в каких соотношениях находятся в материале. Так, состав гранита определяется содержанием породообразующих минералов — полевого шпата, кварца, слюды и роговой обманки. Точно так же используют характеристики минерального состава клинкера для оценки свойств цементов. Если материал обладает полиминеральным составом, его свойства зависят от количественного соотношения между минералами, поскольку индивидуальные характеристики минералов неодинаковы. Следовательно, при создании искусственных строительных материалов можно сознательно управлять их свойствами.

Фазовый состав материала также оказывает большое влияние на свойства. В твердой фазе выделяют кристаллическую и аморфную составляющие. Кристаллическая форма состояния вещества более устойчива. Аморфная форма по сравнению с кристаллической характеризуется большим запасом потенциальной энергии, и поэтому аморфные вещества в химическом отношении активнее. Например, кварц (кристаллическая форма оксида кремния) способен вступать во взаимодействие с известью лишь при температурах выше 170°С, а опал (аморфная форма оксида кремния), входящий в состав диатомита, трепела, реагирует с известью уже при нормальной температуре. Высокую химическую активность аморфной формы используют при изготовлении клинкера

¹Энгельс Ф. Диалектика природы // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 20. С. 547.

портландцемента, создавая в его составе некоторое количество (6... 15%) стекловидной фазы. Это позволяет повышать прочность цемента.

В структуре пористого материала, например бетона или строительного раствора, выделяют твердую фазу, образующую его каркас, и поры, которые могут быть заполнены воздухом и водой. При замерзании насыщенного водой материала вода переходит в лед, увеличиваясь в объеме. В результате в каркасе, т.е. в стенках пор, возникают большие растягивающие напряжения, которые приводят к разрушению материала.

§ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Большинство строительных материалов — это пористые тела. Поры занимают лишь часть объема тела, остальное приходится на твердую фазу. Объем твердой фазы, взятый за вычетом пор, называют абсолютным объемом V_a . Обозначив объем пор через V_n , получают формулу для вычисления объема материала в естественном состоянии V_e (рис. 1):

$$V_e = V_a + V_n \quad (1)$$

Истинной плотностью ρ называют отношение массы материала m к его абсолютному объему V_a :

$$\rho = m/V_a \quad (2)$$

Размерность истинной плотности — кг/м^3 или г/см^3 , другие размерности используют редко.

В строительных конструкциях материал находится в естественном состоянии, т.е. занимаемый им объем обязательно включает в себя и поры. В этом случае для характеристики физического состояния материала используют понятие средней плотности.

Средняя плотность ρ_m — отношение массы материала ко всему занимаемому объему, включая имеющиеся в нем поры, т.е.

$$\rho_m = m/V_e \quad (3)$$

Поскольку $V_e \geq V_a$ (равенство соблюдается в абсолютно плотных материалах, не содержащих пор, — стали, стекле, битуме, воде), то всегда выполняется и соотношение $\rho_m \leq \rho$. Таким образом, средняя плотность материала, как правило, меньше его истинной плотности.

Пористостью Π называют степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = V_n/V_e \quad (4)$$

Пористость — относительная величина, выражаемая в процентах или долях объема материала. Если известны значения средней и истинной плотности, то пористость материала, %, рассчитывают по формуле

$$\Pi = (1 - \rho_m/\rho) 100 \quad (5)$$

Плотность и пористость изменяются в широких пределах и оказывают тем самым значительное влияние на свойства. С повышением плотности возрастает и прочность материала. С другой стороны, чем меньше плотность, тем легче становится конструкция. Воздух, находящийся в порах, обладает малой теплопроводностью, и чем выше пористость материала, тем лучше его теплоизолирующие свойства. Поэтому стремятся получить теплоизоляционные материалы с возможно более низкими значениями ρ_m (не более 600 кг/м^3).

Свойства материала зависят не только от суммарного объема пор. Большое значение имеет характер пористости. Различают открытые и замкнутые поры. Открытые поры сообщаются между собой и выходят на поверхность материала. Поэтому материал с открытыми порами легко насыщается водой. В увлажненном состоянии он начинает хорошо проводить тепло, так как воздух в порах замещается водой, теплопроводность которой в 25 раз больше. Строительные материалы, обладающие преимущественно открытой пористостью, плохо сопротивляются физическим и химическим коррозионным воздействиям.

В некоторых случаях открытую пористость формируют в структуре материала умышленно. Это относится, например, к звукопоглощающим изделиям, дренажным трубам из керамики или керамзитобетона.

Размеры пор также различны: от нескольких миллиметров до микрометра и менее. В теплоизоляционных материалах стараются формировать поры минимального размера. При этом теплопередача через толщу материала сокращается из-за уменьшения конвекции и лучеиспускания. В гидротехническом бетоне, подвергаемом напорному воздействию воды, также должны содержаться преимущественно мелкие поры, поскольку при диаметре пор менее 1 мкм не происходит фильтрации воды через тело бетона.

Замкнутые поры, не насыщаемые водой, и полужамкнутые, в которые вода проникает только под давлением, повышают стойкость материала.

Сравнительные характеристики плотности и пористости некоторых строительных материалов приведены в табл. 1.

Для характеристики свойств сыпучих зернистых материалов: цемента, песка, щебня — используют такие понятия, как насыпная плотность, пустотность и удельная поверхность.

Насыпная плотность ρ_n , кг/м^3 , равна отношению массы m к объему, занимаемому сыпучим материалом в стандартном рыхлонасыпном состоянии V_n , т.е.

$$\rho_n = m/V_n \quad (6)$$

Величина V_n включает в себя объем всех частиц сыпучего материала и объем пространств между частицами, называемых пустотами. Если для зернистого материала известна насыпная плотность ρ_n и средняя плот-

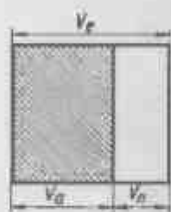


Рис. 1. Соотношение объемов в пористом материале

Таблица 1. Плотность и пористость материалов

Материал	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho_m, \text{г/см}^3$	П, %
Сталь	7,85	7,85	0
Гранит	2,7...2,9	2,6...2,8	0,3...1,5
Плотный известняк	2,5...2,6	1,6...2,4	8...35
Бетон:			
тяжелый	2,6	2,2...2,4	10...15
легкий	2,6	1,0...1,8	30...60
ячеистый	2,6	0,5...1,0	60...80
Керамический кирпич	2,65	1,6...1,8	30...40
Сосна	1,54	0,45...0,5	65...70
Древесноволокнистая плита	1,5	0,2...0,25	83...87
Полимеры:			
стеклопластик	2,0	2,0	0
полистирольный пенопласт	1,05	0,02...0,04	96...98

ность зерен ρ_m , то можно рассчитать его *пустотность* a — относительную характеристику, выражаемую в долях единицы или в процентах:

$$a = (1 - \rho_n / \rho_m) 100. \quad (7)$$

По физическому смыслу понятия пустотность и пористость аналогичны. При изготовлении бетона и строительного раствора стремятся использовать сыпучие заполнители — песок, щебень или гравий с минимальной пустотностью. В этом случае для заполнения пустот потребуется меньше цемента и бетон будет дешевле.

Активность тонких порошков, например цемента, зависит от размера частиц: чем меньше частицы, тем активнее цемент. К обобщенной характеристике физического состояния порошков относится *удельная поверхность*, которая представляет собой отношение суммарной площади поверхности всех частиц к массе частиц или занимаемому ими объему. Чаще удельную поверхность $A_{уд}$, $\text{см}^2/\text{г}$ или $\text{м}^2/\text{г}$, относят к единичной массе материала m :

$$A_{уд} = \Sigma A / m, \quad (8)$$

где ΣA — суммарная площадь поверхности частиц.

Значения $A_{уд}$ зависят от размера частиц. К примеру, при дроблении кубической частицы с площадью поверхности $\Sigma A = 6a^2$ пополам образуются две новые поверхности площадью $2a^2$

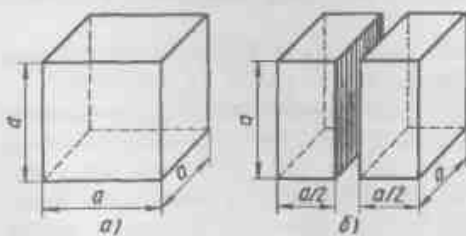


Рис. 2. Образование дополнительной поверхности при дроблении частицы: а — до дробления, б — после дробления

(рис. 2). Таким образом, величина ΣA увеличилась на 33% и на столько же выросла удельная поверхность, так как масса m и объем частицы остались неизменными.

Таким образом, чем тоньше частицы, тем больше удельная поверхность порошка. Увеличивая ее, получают специальные виды портландцемента, например быстротвердеющий.

Очень часто в процессе эксплуатации строительные конструкции увлажняются и свойства материала изменяются. Чтобы получить численные характеристики свойств материала, подвергающегося действию влаги, используют следующие понятия.

Водопоглощение характеризует способность пористого материала впитывать и удерживать в порах капельно-жидкую влагу. Данное свойство отражает максимальное количество влаги, которое может поглотить материал, поэтому его иногда называют максимальной влагоемкостью. К численным характеристикам относятся водопоглощение по массе и водопоглощение по объему.

Водопоглощение по массе W_m , %, равно отношению массы воды $m_{в.н.}$ полностью насыщающей материал, к массе сухого материала m :

$$W_m = (m_{в.н.} / m) 100. \quad (9)$$

Водопоглощение по объему W_o , %, характеризует степень заполнения объема материала водой; вычисляют как отношение объема воды $V_{в.н.}$ при полном насыщении материала к объему материала V_c :

$$W_o = (V_{в.н.} / V_c) 100. \quad (10)$$

Водопоглощение по массе легко определить опытным путем. Для этого взвешивают пробу сухого материала m , затем полностью насыщают его водой и определяют массу в водонасыщенном состоянии m_n . Разность $m_n - m$ равна массе поглощенной воды $m_{в.н.}$.

Сложнее определить W_o , %, особенно если образец материала имеет неправильную геометрическую форму, поскольку затруднено нахождение V_c . Однако можно вычислить водопоглощение по объему при известных значениях водопоглощения по массе и плотности материала, используя формулу

$$W_o = W_m \rho_m / \rho_v, \quad (11)$$

где ρ_v — плотность воды, равная 1 г/см^3 .

Водопоглощение различных материалов, которое зависит от характера пористости, может изменяться в широких пределах. Значения W_m составляют для гранита 0,02...0,7%, тяжелого бетона — 2...4, кирпича — 8...20, легких теплоизоляционных материалов с открытой пористостью — 100% и более. Водопоглощение по объему никогда не превышает пористости, так как объем впитанной материалом воды не может быть больше объема пор.

Величины W_M и W_0 характеризуют предельный случай, при котором материал более не в состоянии впитывать влагу. В реальных конструкциях материал может содержать некоторое количество влаги, полученной при кратковременном увлажнении капельно-жидкой водой либо в результате конденсации в порах водяных паров из воздуха. В этом случае состояние материала характеризуют влажностью.

Влажность $W, \%$, — это относительное содержание влаги в материале, определяемое по формуле

$$W = (m_w/m) 100, \quad (12)$$

где m_w — масса воды; m — масса сухого материала.

Влажность может измениться от нуля, когда материал сухой, до величины W_M , соответствующей максимальному водосодержанию.

Увлажнение приводит к изменению многих свойств материала. Повышается вес строительной конструкции, возрастает теплопроводность. В реальном материале всегда есть множество дефектов структуры, среди которых наиболее опасны микротрещины. Вода обладает расширяющим действием и, попадая в микротрещины, увеличивает их протяженность. В результате возрастает доля дефектов в структуре, что сказывается на прочности материала.

Водостойкостью называется способность материала сохранять прочность в увлажненном состоянии. Для численной оценки этого свойства используют коэффициент водостойкости K_B , определяемый по формуле

$$K_B = R_B/R_C, \quad (13)$$

где R_B и R_C — пределы прочности материала в водонасыщенном и сухом состоянии.

У наиболее водостойких материалов — гранита, тяжелого бетона — значения K_B приближаются к единице, у неводостойких — строительного картона, необожженной глины — они близки к нулю. Материалы, у которых $K_B > 0,8$, считаются достаточно водостойкими; их разрешается применять в сырых местах без специальных защитных покрытий.

Под действием влаги пористые материалы набухают. При высыхании происходит обратный процесс — усадка. Оба эти процесса, которые протекают в объеме конструкции неравномерно, вызывают значительные структурные напряжения в материале. В результате при набухании изделие или конструкция могут покоробиться, а при усадке в материале — возникнуть трещины. Относительные деформации усадки строительного раствора достигают 0,5...1 мм/м, бетона — 0,3...0,7 мм/м. Для уменьшения усадочных деформаций природные материалы пропитывают специальными веществами, у композиционных искусственных материалов, например бетона, регулируют состав.

Морозостойкостью называют способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. Марка по морозостойкости F обозначает наибольшее число циклов замораживания — оттаивания, которое выдерживают образцы мате-

риала без снижения прочности на сжатие более 15% (для некоторых материалов 25%); потеря массы при этом не должна превышать 5%.

В наружных конструкциях, подверженных действию воды и переменных температур, морозостойкость является определяющим фактором долговечности. Проектную марку материалов по морозостойкости устанавливают с учетом вида и условий эксплуатации конструкции, а также климата. Например, для возведения наружных стен употребляют легкий бетон и керамический кирпич марок по морозостойкости F15, F25 и F35. Дорожный бетон, работающий в более тяжелых условиях, изготовляют марок F50... F200, а гидротехнический — до F500.

Метод оценки морозостойкости каменных материалов путем многократного замораживания и оттаивания образцов, предложенный профессором Петербургского института инженеров путей сообщения Н.А. Белебеским, был принят в 1886 г. на Международной конференции по испытанию материалов. Этот метод применяют и сейчас во всех странах.

Для испытания на морозостойкость стандартные образцы материалов или целые мелкоштучные изделия (например, кирпич) вначале насыщают водой. После этого их замораживают при температуре от -15° до -20°C . Затем образцы извлекают из морозильной камеры и оттаивают в воде комнатной температуры. Такое замораживание и оттаивание составляет один цикл испытания. С увеличением числа циклов в структуре материала происходят необратимые изменения, которые приводят к падению прочности (рис. 3).

Строительные конструкции в процессе эксплуатации подвергаются постоянному или переменному тепловому воздействию. Для характеристики свойств материала в этом случае используют понятия теплопроводности, теплоемкости, термического расширения, огнеупорности и огнеустойкости.

Теплопроводность — свойство материала передавать тепло при перепаде температур на противоположных поверхностях конструкции

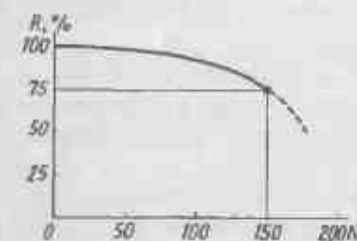


Рис. 3. Изменение прочности материала R в зависимости от числа циклов замораживания — оттаивания N (марка по морозостойкости F150)

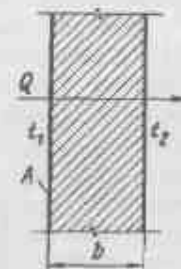


Рис. 4. Схема передачи тепла через ограждающую поверхность (стрелка показывает направление теплового потока)

(рис. 4). Количество теплоты Q , проходящей через ограждающую поверхность, например через стену, зависит от площади поверхности A , перепада температуры $t_1 - t_2$, толщины стены b , длительности прохождения теплового потока z , а также от некоторого коэффициента λ , характеризующего специфические свойства материала. Значение Q вычисляют по формуле

$$Q = \lambda [A(t_1 - t_2)z] / b. \quad (14)$$

Величину λ называют теплопроводностью и выражают в Вт/(м·К). Она зависит от состава и строения материала.

У наиболее легких теплоизоляционных материалов $\lambda = 0,025...0,03$ Вт/(м·К), т.е. приближается к теплопроводности воздуха. Конструкционные материалы — тяжелый бетон, металлы — отличаются значительно большей теплопроводностью.

Теплоемкостью называют свойство материала поглощать теплоту при нагреве либо отдавать при остывании. Она характеризуется удельной теплоемкостью c , равной количеству теплоты (кДж), необходимой для нагрева 1 кг материала на один градус. Удельная теплоемкость неорганических строительных материалов находится в пределах от 0,4 до 1 кДж/(кг·К), сухой древесины — 1,7...2 кДж/(кг·К). У воды наибольшая теплоемкость — 4,2 кДж/(кг·К), поэтому при увлажнении материалов их теплоемкость возрастает. Численные характеристики теплоемкости используют при расчете теплоустойчивости ограждающих конструкций. Кроме того, значения c надо знать для расчета затрат топлива и энергии на обогрев материалов и конструкций при зимних работах.

Термическое расширение характеризует свойство материала изменять размеры при нагреве. За немногими исключениями строительные материалы при этом расширяются. Для численной характеристики такого явления используют температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), равный отношению удлинению материала при нагреве его на один градус.

Значение ТКЛР составляют: для бетона (10...12) · 10⁻⁶ К⁻¹, стали 10 · 10⁻⁶, древесины вдоль волокон (3...5) · 10⁻⁶ К⁻¹. ТКЛР полимерных строительных материалов в 10...20 раз больше.

Вследствие термического расширения деформации материала в конструкции достигают значительных величин, поэтому в сооружениях большой протяженности во избежание растрескивания предусматривают деформационные швы.

Огнеупорность — свойство материала выдерживать длительное воздействие высоких температур, не размягчаясь и не деформируясь. Огнеупорными считают материалы, выдерживающие температуру более 1580 °С. Материалы, работающие в температурном интервале 1350...1580 °С, называют тугоплавкими, а при температуре менее 1350 °С — легкоплавкими.

Огнестойкость — свойство материала сопротивляться действию огня при пожаре. Основная характеристика строительных конструкций в

условиях пожара — степень огнестойкости, которая зависит от сгораемости материала и предела огнестойкости конструкции.

Сгораемость — это способность материала воспламениться и гореть. Материалы бывают негорячими, трудногорячими и сгораемыми.

Несгораемые материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К ним относятся такие неорганические материалы, как, например, бетон и сталь.

Трудногорячие материалы воспламеняются, тлеют или обугливаются лишь в присутствии источника зажигания. После удаления огня горение или тление прекращается. В эту группу входят, в частности, асфальтобетон, самозатухающий пенопласт, древесина, пропитанная специальными веществами — антипиренами.

Сгораемые материалы продолжают гореть или тлеть даже после удаления источника зажигания, т.е. способны к самостоятельному горению в атмосфере нормального состава. К ним относят органические материалы: древесину, строительные пластмассы, битуминозные кровельные и гидроизоляционные материалы и др.

Предел огнестойкости — это промежуток времени (минуты или часы) от начала возгорания до возникновения в конструкции предельного состояния. Предельным состоянием считают потерю несущей способности, т.е. обрушение конструкции; возникновение в ней сквозных трещин, через которые на противоположную поверхность могут проникать продукты горения и пламя; недопустимый нагрев противоположной действию огня поверхности, который может вызвать самопроизвольное возгорание других частей сооружения.

Ошибочно полагают, что для изготовления огнестойкой конструкции достаточно лишь применить негорячий материал. Это условие необходимо, но оно недостаточно. Некоторые негорячие материалы (гранит, асбестоцемент) при пожаре растрескиваются, металлические конструкции сильно деформируются. Их приходится защищать более огнестойкими материалами.

§ 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Под действием внешних сил строительные конструкции претерпевают деформацию. Длина деформируемого тела l изменяется (увеличивается или уменьшается) на величину Δl , называемую абсолютной деформацией. Удобнее характеризовать деформационные свойства не абсолютной, а относительной деформацией ϵ , равной отношению абсолютной деформации к первоначальному (до деформирования) размеру тела:

$$\epsilon = \Delta l / l \quad (15)$$

Твердые тела по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя свойства упругости или пластичности.

Упругость — свойство твердого тела самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия внешней силы. Упругая деформация, полностью исчезающая после снятия внешней нагрузки, называется *обратимой*.

Пластичность характеризует способность материала под действием внешних сил изменить первоначальную форму без нарушения сплошности структуры. После снятия нагрузки пластичный материал не восстанавливает первоначальной формы. Пластическая (остаточная) деформация, не исчезающая после снятия нагрузки, называется *необратимой*.

Под действием внешних нагрузок в материале возникают внутренние силы упругости, стремящиеся вернуть его в первоначальное состояние. Физическая величина, которая характеризует интенсивность внутренних сил, приходящихся на единицу площади сечения, называется *механическим напряжением*. При одноосном растяжении или сжатии напряжение σ определяют по формуле $\sigma = F/A$, где F — действующая сила; A — площадь первоначального поперечного сечения элемента.

Прочностью называют свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, вызванных внешними силами. Количественная характеристика прочности — это *предел прочности*, численно равный напряжению, при котором материал разрушается.

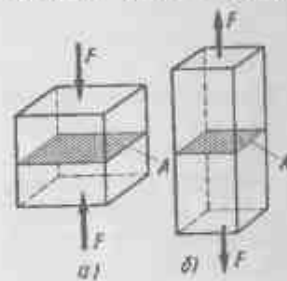


Рис. 5. Схема определения предела прочности: а — при сжатии, б — при растяжении

Для экспериментального определения предела прочности материала используют образцы правильной геометрической формы — кубы, призмы, цилиндры, стержни, полоски. Размеры образцов, процедура испытания, вид и скорость нагружения, правила обработки результатов выдерживаются в строгом соответствии с требованиями стандарта. Чаще всего испытывают материалы сжимающей или растягивающей нагрузкой (рис. 5). Предел прочности при сжатии или растяжении R рассчитывают по формуле

$$R = F_{\text{разр}}/A, \quad (16)$$

где $F_{\text{разр}}$ — разрушающая нагрузка; A — площадь первоначального сечения образца в плоскости, перпендикулярной действию силы $F_{\text{разр}}$.

Нагрузку выражают в меганьютонах, площадь — в м^2 , поэтому в Международной системе единиц предел прочности, как и напряжение, измеряется в $\text{МН}/\text{м}^2$ или в МПа. Однако в ряде действующих нормативных документов сохранилась размерность предела прочности в технической системе единиц — $\text{кгс}/\text{см}^2$. Приблизительное соотношение между ними: $1 \text{ МПа} = 10 \text{ кгс}/\text{см}^2$.

Прочность строительных материалов колеблется в очень широких пределах. Так, для гранита предел прочности при сжатии достигает 120...250 МПа, конструктивного бетона 80, керамического и силикатного

кирпича — 30 МПа. Наименее прочны теплоизоляционные материалы (0,1...1 МПа).

Предел прочности при растяжении для обычной строительной стали составляет 380 МПа, тяжелого бетона — 1...4 МПа.

Большинство строительных материалов — это хрупкие тела, которые разрушаются без заметных пластических деформаций. Предел прочности при сжатии таких материалов, как бетон, гораздо больше предела прочности при растяжении. Это значит, что их можно использовать только для возведения сжимаемых конструкций — колонн, стен.

Некоторые материалы характеризуются прочностью при растяжении, равной или большей прочностью при сжатии (сталь, древесина). Их применяют в изгибаемых или растягиваемых конструкциях — балках, ригелях, элементах строительных ферм. Для расширения конструктивных возможностей хрупких каменных материалов в их состав вводят элементы, хорошо сопротивляющиеся растяжению. Например, сочетание бетона со стальной арматурой дает железобетон.

Для оценки сравнительной эффективности конструкционных материалов используют понятие *удельной прочности*, т.е. прочности, которая приходится на единицу массы конструкции. Численная характеристика удельной прочности — это *коэффициент конструкционного качества*, определяемый по формуле

$$K_{\text{к.к.}} = R/\rho_m, \quad (17)$$

где R — предел прочности материала при сжатии или растяжении, МПа; ρ_m — средняя плотность материала.

Если выражать среднюю плотность материала по отношению к плотности воды, равной $1 \text{ г}/\text{см}^3$, то ρ_m оказывается безразмерной величиной. В этом случае размерность $K_{\text{к.к.}}$ будет та же, что и предела прочности, т.е. МПа. Данные об удельной прочности некоторых материалов помещены в табл. 2.

Таблица 2. Удельная прочность конструкционных материалов

Материал	Предел прочности, МПа		ρ_m	$K_{\text{к.к.}}$, МПа
	при сжатии	при растяжении		
Стеклопластик	—	450	2	225
Древесина сосны (без пороков)	—	100	0,5	200
Сталь:				
высокопрочная	—	1000	7,85	127
строительная	—	390	7,85	50
Тяжелый бетон	40	—	2,4	17
Керамический кирпич	15	—	1,8	8

Для возведения несущих конструкций эффективны такие материалы, в которых высокая прочность сочетается со сравнительно низкой плотностью.

Механические свойства материалов характеризуются диаграммой деформаций, которую строят в координатах "механическое напряжение σ — относительная деформация ϵ " (рис. 6).

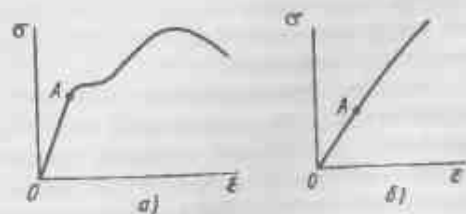


Рис. 6. Диаграмма деформаций стали (а) и бетона (б)

Начальные участки диаграмм деформирования прямолинейны. Это означает, что материал работает как упругое тело и его деформация пропорциональна напряжению. Связь деформации ϵ и напряжений σ в области упругой работы материала на участке OA описывается законом Р.Гука:

$$\sigma = E\epsilon, \quad (18)$$

где E — модуль упругости данного материала, называемый также модулем Т.Юнга. Размерность модуля Юнга такая же, как у напряжений, т.е. МПа, поскольку ϵ — безразмерная величина.

Модуль упругости характеризует жесткость материала, его способность деформироваться под влиянием внешних сил. Чем выше E , тем менее материал склонен к деформациям. Такие конструкционные материалы, как сталь, железобетон, отличаются высокими значениями модуля упругости.

При увеличении напряжений в стальном образце наблюдается пластическое разрушение, отмеченное площадкой текучести (рис. 6,а). Бетон характеризуется хрупким разрушением, при котором пластические деформации невелики — площадка текучести отсутствует (рис. 6,б).

Некоторые материалы, например бетон в фундаментах машин или в конструкции дорожного покрытия, подвержены действию ударных повторяющихся нагрузок. Для характеристик свойств в этих случаях применяют понятие *динамической прочности*, т.е. способности материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках. Динамическую прочность выражают количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца и отнесенной к единице его объема или площади поперечного сечения (Дж/м^3 или Дж/м^2).

Традиционные методы определения прочности материалов связаны с изготовлением стандартных образцов, которые во время испытания доводят до разрушения. Однако неизбежно встает вопрос, насколько прочность материала в образцах соответствует прочности его в реальной конструкции. Чтобы достоверно судить, например, о прочности бетона, из конструкции выбуривают большое число кернов, что может ослабить конструкцию.

Небольшую часть сборных железобетонных конструкций подвергают испытанию до разрушения с целью проверки прочности, жесткости и трещиностойкости изделий. Для сплошного контроля качества изделий традиционные, так называемые разрушающие, методы испытаний непригодны.

Используя неразрушающие методы контроля, можно оценить прочность материала по косвенным характеристикам. Наиболее распространен импульсный ультразвуковой метод. Его физической основой является связь между скоростью распространения упругих волн и характеристиками материала: его плотностью и упругими свойствами, в частности модулем Юнга. Чем плотнее материал, тем быстрее распространяются в нем ультразвуковые волны. С повышением плотности возрастает и прочность материала. Это позволяет увязать прочность непосредственно со скоростью распространения в теле материала упругих ультразвуковых волн.

Ультразвуковые волны — это упругие колебания среды с малой длиной волны и частотами, превышающими предел слышимости — свыше 20 кГц. Ультразвуковые волны не вызывают в бетоне и подобных ему строительных материалах никаких изменений.

С помощью ультразвуковой аппаратуры можно контролировать прочность бетона в любой части конструкции. Для этого изготавливают контрольные образцы из бетона с применением материалов, используемых на данном строительстве. После затвердевания бетона к заданному сроку определяют скорость прохождения ультразвука в образцах, затем их испытывают на прочность обычным, т.е. разрушающим, методом. Результаты всех испытаний наносят на градуировочный график "скорость ультразвука — предел прочности бетона при сжатии R ".

Располагая таким графиком, можно приступить к оценке прочности на любом участке бетонной конструкции. Чаще пользуются способом сквозного прозвучивания. При этом ультразвуковые преобразователи (датчики) устанавливают на противоположных поверхностях изделия или конструкции, определяют время прохождения ультразвукового сигнала t , мкс. Измерив толщину конструкции l , рассчитывают скорость распространения ультразвука v по формуле $v = l/t$, км/с. Далее по градуировочному графику находят искомую прочность на исследуемом участке конструкции.

Таким путем можно получить картину фактической прочности бетона во всех частях конструкции, оценить однородность бетона и качество бетонных работ.

Твердость — свойство поверхностных слоев материала сопротивляться местным деформациям. Твердость большинства материалов определяют путем вдавливания в образцы с установленным усилием стального шарика либо твердого наконечника правильной геометрической формы — конуса или пирамиды. После удаления нагрузки с поверхности испытываемого материала остается отпечаток. Чем меньше отпечаток, тем выше твердость материала. Отношение приложенной нагрузки

к площади поверхности отпечатка называется *числом твердости по Бриггеллю* и обозначается НВ. Твердость вычисляют в МПа.

Твердость минералов оценивают шкалой Мооса, представленной десятью минералами-эталоном (табл. 3). Каждый последующий минерал в шкале твердости оставляет своим острым концом царапину на всех предыдущих. Всем минералам-эталонам присвоены условные числа твердости от 1 до 10.

Т а б л и ц а 3. Шкала твердости минералов

Число твердости	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк	Легко царапается ногтем
2	Гипс	Царапается ногтем
3	Кальцит	Легко царапается стальным ножом
4	Флюорит (плавиковый шпат)	Царапается стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит	Царапается стальным ножом под сильным нажимом
6	Ортоклаз	Слегка царапает стекло
7	Кварц	Легко царапает стекло
8	Топаз	То же
9	Корунд	"
10	Алмаз	"

По твердости можно судить о других механических свойствах материала. Так, показатель твердости используют для оценки прочности бетона неразрушающими ударными методами (склерометрические испытания). Характеристика твердости имеет важное значение при выборе материалов для покрытия полов и дорожных одежд.

Истираемость — свойство образца материала уменьшаться в объеме и массе под воздействием истирающих усилий. Истираемость I , г/см², выражается потерей массы материала, отнесенной к площади истираемой поверхности A :

$$I = (m_1 - m_2) / A, \quad (19)$$

где m_1 и m_2 — масса образца до и после испытания.

Сопротивление истиранию определяют путем воздействия на образец материала стандартными абразивами — кварцевым песком или наждаком. Это свойство имеет решающее значение при выборе долговечных материалов для лестничных ступеней, полов, автомобильных дорог.

Рассмотренные в главе I свойства наиболее часто употребляют для характеристики строительных материалов, поэтому эти свойства называют основными. Кроме того, для конкретных материалов необходимо выделять и специальные свойства. Например, для вяжущих веществ —

это способность к твердению, для бетонных смесей — удобоукладываемость и т.д. Они будут рассмотрены при изучении конкретных материалов.

Контрольные вопросы

1. Чем различаются понятия *истинная* и *средняя плотность* строительного материала? 2. Проследите влияние пористости на основные свойства материала. В каких случаях нужны материалы с высокой пористостью и когда она нежелательна? 3. Чем различаются понятия *влажность* и *водопоглощение* материала? 4. Сопоставляя формулы для вычисления пористости и водопоглощения по объему, покажите, почему водопоглощение по объему не может быть больше пористости материала. 5. Может ли численное значение водопоглощения по массе превышать пористость? Какой характер пор должен при этом быть в материале? 6. Как оценить водостойкость материала? Приведите примеры водостойких и неводостойких строительных материалов. 7. Объясните физические причины разрушения материалов при циклическом замораживании. Как испытывают строительные материалы на морозостойкость и в каких единицах выражают эту величину? 8. Для каких материалов и строительных конструкций важна низкая теплопроводность? Какова структура у теплоизоляционных материалов? 9. Почему при использовании теплоизоляционных материалов в зданиях и инженерных сооружениях экономится топливо и электроэнергия? 10. В чем различие понятий *огнестойкость* и *огнеупорность* материалов? 11. Сопоставьте понятия *прочность*, *предел прочности* и *механическое напряжение*. Что общего в этих понятиях и что их различает? 12. Сравните свойства — упругость и пластичность. 13. Какие конструкционные материалы наиболее эффективны? Сопоставьте материалы, приведенные в табл. 2. Рассчитайте коэффициенты конструкционного качества наиболее употребительных материалов (по указанию преподавателя). 14. Чем различаются понятия *твердость* и *прочность*? В каких частях зданий применяют материалы с высокой твердостью и малой истираемостью?

Г Л А В А II

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Минеральные вяжущие вещества — это материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердевать, переходя в камневидное состояние. После затвердевания вяжущее вещество скрепляет в одно целое, т.е. как бы связывает между собой, камни либо зерна сыпучих материалов — песка, гравия, щебня.

Различают органические и минеральные (неорганические) вяжущие вещества.

К органическим относятся битум, деготь, полимеры. Эти вещества переходят в рабочее состояние при нагреве либо растворении в органических растворителях.

Минеральные вяжущие выпускают в виде тонких высокодисперсных порошков (цемента, гипсового вяжущего). Реже применяют вяжущие в виде высоковязких жидкостей (жидкого стекла, фосфатных вяжущих). Как правило, минеральные вяжущие переводят в рабочее состояние путем смешивания с водой. Этот процесс называют *затворением вяжущего*. Некоторые вяжущие, например магнезиальный цемент, затворяют водными растворами солей.

По химическому составу минеральные вяжущие вещества подразделяют на следующие основные группы: строительная известь; гипсовые вяжущие; цементы; смешанные вяжущие (известково-шлаковые, известково-пушкляновые); магнезиальные вяжущие; жидкое (растворимое стекло).

В зависимости от условий твердения вяжущего, а также от области применения различают воздушные и гидравлические вяжущие вещества.

Воздушные вяжущие способны затвердевать и сохранять прочность длительное время только на воздухе. К этой группе относят воздушную известь, гипсовые вяжущие, магнезиальный цемент. При систематическом увлажнении затвердевшие воздушные вяжущие теряют прочность, поскольку они неводостойки. Поэтому эти вяжущие можно применять лишь в таких частях сооружений, которые не подвергаются действию воды.

Гидравлические вяжущие твердеют и длительное время сохраняют прочность не только на воздухе, но и в воде. В начальный период твердения необходимо, чтобы в среде, где находится вяжущее вещество, присутствовала влага. Иначе вяжущее быстро теряет большую часть воды затворения и течение химических реакций, благодаря которым формируется прочность материала, замедляется. В благоприятных условиях, когда влажность окружающей среды достаточна, гидравлические вяжущие со временем повышают прочность. Таким образом, по своим свойствам и области применения гидравлические вяжущие вещества более универсальны. Эту группу образуют портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент, гидравлическая известь.

Гидравлические и воздушные вяжущие составляют подавляющее большинство используемых в строительстве материалов данного типа. Кроме того, применяют сравнительно небольшую группу *вяжущих автоклавного твердения*. Прочность этих вяжущих формируется только при высокой температуре и обязательно в среде насыщенного водяного пара. Такие условия создают в автоклавах — аппаратах высокого давления. В число автоклавных вяжущих входят известково-золяные, известково-шлаковые вяжущие, нефелиновый цемент.

В самостоятельную группу иногда выделяют и вяжущие специального назначения: кислотоупорные (жидкое стекло), жаростойкие (фосфатные вяжущие).

Основной характеристикой вяжущих веществ является прочность, по которой оценивают марку вяжущего. Предел прочности при сжатии различных вяжущих находится в широком диапазоне: от 0,2 МПа у воздушной извести до 60 МПа и более у цементов.

Кроме прочности учитывают скорость твердения вяжущего, т.е. темп набора прочности. Различают два этапа твердения вяжущего — схватывание и собственно твердение. Момент, когда тесто вяжущего начинает загустевать и утрачивает пластичность, называют *началом схватывания*. Все технологические операции по приготовлению, транспортированию и укладке бетонной смеси и раствора производят до начала схватывания, пока масса еще не утратила пластичности. В этом важное практическое значение данного показателя.

Со временем вяжущее тесто окончательно загустевает и переходит в твердое камневидное тело. Период, характеризующий *собственно твердение*, у вяжущих веществ может быть различным. Наибольшей быстротой твердения отличаются гипсовые вяжущие: они твердеют за несколько часов. Цементы набирают марочную прочность через 28 сут. Известковые вяжущие относятся к медленнотвердеющим.

До начала схватывания смесь вяжущего вещества с водой называют *тестом* (например, цементное тесто); после его затвердения образуется *камень* (например, цементный).

§ 5. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Портландцемент — основное вяжущее, применяемое в современном строительстве для изготовления монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Понятие о производстве портландцемента. Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое в результате тонкого измельчения клинкера с небольшой добавкой гипса. Клинкер представляет собой материал в виде окатанных зерен размером 3...20 мм, получаемый путем обжига до спекания (при температуре 1450 °С) сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины. Добавку (3...6%) гипса вводят для регулирования сроков схватывания портландцемента.

Портландцемент — важнейший представитель строительных цементов. Строительные цементы — это собирательное название группы гидравлических вяжущих, главной составной частью которых являются силикаты и алюминаты кальция. Среди этих вяжущих выделяют цементы на основе портландцементного клинкера (портландцемент, шлакопортландцемент, пушкляновый портландцемент) и цементы на основе глиноземистого клинкера (глиноземистый, высокоглиноземистый и гипсоглиноземистый).

Изобретение портландцемента связывают с именами П.Аспдина и Е.Г. Челиева. Каменщик из английского города Лидса Джозеф Аспдин получил в декабре 1824 г. патент на изготовление вяжущего вещества путем обжига смеси извести с глиной. За сходство по цвету с естествен-

ным камнем из каменоломен близ города Портленда он назвал это вяжущее порландцементом. Однако Аспдин не доводил смесь до спекания, что является основным условием получения порландцементного клинкера. В то же время начиная с 1817 г. в России военный техник Егор Герасимович Челиев изготавливал вяжущее путем обжига смеси извести с глиной, доводя их до спекания. Полученный цемент Е.Г. Челиев широко использовал как универсальное вяжущее при возведении разнообразных каменных строений в Москве, сильно пострадавшей от пожара 1812 г. Свои работы Е.Г. Челиев обобщил в книге "Полное наставление, как приготовить дешевый и лучший мергель или цемент, весьма прочный для подводных строений, как-то: каналов, мостов, бассейнов, плотин, подвалов, погребов, и штукатурки каменных и деревянных строений", вышедшей в ноябре 1825 г. Описанный Е.Г. Челиевым способ изготовления вяжущего принципиально не отличается от технологии изготовления современного порландцемента.

СССР — крупнейший в мире производитель цемента. По абсолютному объему производства и выпуску цемента на душу населения наша страна значительно превосходит США и другие промышленно развитые страны.

Сырьевыми материалами для изготовления порландцементного клинкера являются карбонатные и глинистые горные породы. Главное химическое соединение карбонатных пород (известняка, мела) — карбонат кальция CaCO_3 . Глинистые породы (в основном глины) содержат различные алюмосиликаты типа $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Для получения клинкера исходные сырьевые материалы берут примерно в соотношении 3:1, т.е. на 1 мас.ч. глины должно приходиться 3 мас.ч. известняка. Известная горная порода — мергель, представляющая собой природную тесную смесь известняка и глины именно в таком соотношении. Там, где есть запасы мергеля, цементные заводы пользуются этим сырьем.

Производство порландцемента включает в себя следующие технологические операции: приготовление сырьевой смеси, обжиг этой смеси и получение клинкера, помол клинкера с добавкой гипса.

Приготовление сырьевой смеси заключается в получении однородной тонкодисперсной смеси известняка и глины. Эту операцию осуществляют сухим или мокрым способом. При сухом способе подвергают совместному измельчению сухие материалы, из которых удаляют свободную влагу до остаточной влажности не более 1...2%. Сухой способ особенно выгоден, если влажность сырья небольшая.

Мокрый способ производства клинкера применяют при значительной влажности материалов. Для этого мягкие, распускающиеся в воде сырьевые материалы — мел, глину измельчают и перемешивают в водной среде. Влажность получаемой суспензии настолько велика, что образуется текучая масса, называемая сырьевым шламом. Основным недостатком мокрого способа подготовки сырья состоит в том, что воду, содержащуюся в шламe, затем приходится удалять испарением (в цементной печи), а это связано с излишними затратами топлива и энер-

гии — в 1,5...2 раза больше, чем при сухом способе. Поэтому вновь строящиеся и проектируемые цементные заводы в нашей стране рассчитаны на изготовление цемента по сухому способу как более экономичному. Такая же тенденция наблюдается и во всех промышленно развитых странах мира.

Обжиг сырьевой смеси — наиболее энергоемкая и ответственная операция, в результате которой образуется клинкер. Обжиг проводят во вращающихся печах, которые представляют собой огромные цилиндрические барабаны диаметром до 5 м и длиной до 230 м. Угол наклона продольной оси барабана печи к горизонту 3...4°. Благодаря этому сырьевая смесь, загруженная в верхнюю часть печи, при медленном вращении барабана постепенно перемещается к нижнему, выходному концу. В печь загружают исходную сырьевую смесь, а выгружают из нее цементный клинкер. Образование клинкера сопровождается рядом сложных физических и химических процессов; основные из них представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Основные процессы при обжиге клинкера

Наименование зоны печи	Температура, °С	Преобладающий процесс
1. Зона сушки	100	1. Испарение из сырьевой смеси свободной (несвязанной) воды 2. Образование комьев, распадающихся на мелкие гранулы
2. Зона подогрева	200...700	1. Удаление химически связанной воды из глинистых минералов. Переход каолинита в каолиновый ангидрид 2. Выгорание из сырья органических примесей
3. Зона кальцинирования	700...1100	1. Термическая диссоциация карбонатов кальция и магния, образование CaO и MgO 2. Распад глинистых минералов на оксиды кремния, алюминия, железа; взаимодействие их с оксидом кальция (реакция проходит в твердом состоянии); образование алюминатов кальция, частично двукальциевого силиката (минерал белит)
4. Зона экзотермических реакций	1100...1250	1. Образование белита 2. Выделение теплоты в результате экзотермических реакций

Наименование зоны печи	Температура, °С	Преобладающий процесс
5. Зона спекания	1300...1450...1300	<ol style="list-style-type: none"> 1. Частичное расплавление (спекание) шихты 2. Растворение в расплаве белита и оксида кальция, их взаимодействие с образованием минерала алита 3. Частичная кристаллизация при охлаждении расплава до 1300 °С 4. Слитание мелких гранул в более крупные
6. Зона охлаждения	1300...1000	<ol style="list-style-type: none"> 1. Формирование основной кристаллической структуры и состава клинкера 2. Образование стекловидной фазы

По выходе из вращающейся печи клинкер, состоящий из прочных камневидных окатанных гранул ("горошки"), интенсивно охлаждают воздухом с температуры 1000 до 100...200 °С в холодильниках. После этого его выдерживают на складе 1...2 недели.

Помол клинкера с добавкой гипса — заключительная технологическая операция. В результате получают тонкозернистый порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета, который и называют портландцементом.

Полученный в результате помола портландцемент хранят в больших железобетонных банках — силосах, вмещающих до 10 тыс. т цемента. Здесь он постепенно охлаждается, а остатки содержащегося в нем свободного оксида кальция, взаимодействуя с влагой воздуха, гасятся. Это значительно улучшает технологические свойства цемента. Из силосов цемент отгружают потребителям в вагонах-цементовозах, автоцементовозах, крытых железнодорожных вагонах. Часть цемента упаковывают в пяти- или шестислойные бумажные мешки.

Схватывание и твердение портландцемента обусловлены особенностями химических соединений, входящих в состав клинкера. По химическому составу клинкер представлен следующими соединениями (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Химический состав портландцементного клинкера

Соединение	Химическая формула	Содержание в клинкере, % по массе
Оксид кальция	CaO	63...66

Соединение	Химическая формула	Содержание в клинкере, % по массе
Диоксид кремния	SiO ₂	21...24
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	4...8
Оксид железа	Fe ₂ O ₃	2...4
Прочие	MnO, SO ₃ , Na ₂ O, TiO ₂	3...5

При обжиге до спекания эти вещества, соединяясь в различных соотношениях, образуют силикаты и алюминаты кальция, которые входят в состав клинкера в виде минералов кристаллической структуры. Некоторая их часть образует стекловидную фазу.

К основным минералам клинкера относятся алит и белит (силикаты кальция), а также трехкальциевый алюминат и алюмоферрит кальция (алюминаты кальция). Каждый из них можно синтезировать отдельно, что дает возможность сопоставлять свойства минералов.

Алит — основной минерал клинкера. Его химическая формула 3CaO · SiO₂, сокращенно C₃S*. Алита в клинкере содержится 45...60%, т.е. больше, чем любого другого минерала. Алит отличается быстротой твердения и большой прочностью.

Белит — второй по значению клинкерный минерал. Состав белита выражается формулой 2CaO · SiO₂, сокращенно C₂S. Содержание его в клинкере 20...30%. Белит медленно твердеет, но при благоприятных условиях может в длительные сроки образовывать с водой весьма прочные соединения.

Названия искусственных минералов клинкера — алит и белит — образованы от греческого слова "литос" (камень) с прибавлением начальных букв латинского алфавита А и В. Суммарное содержание этих минералов — силикатов кальция составляет в клинкере портландцемента около 75%. Поэтому его называют иногда силикатным цементом в отличие от алюминатных цементов, например глиноземистого, в клинкерной части которых преобладают не силикаты, а алюминаты кальция.

Трехкальциевого алюмината 3CaO · Al₂O₃ (C₃A) содержится в клинкере 4...12%. Отличается чрезвычайно быстрым схватыванием и твердением, но дает небольшую прочность.

Четырехкальциевого алюмоферрита 4CaO · Al₂O₃ · Fe₂O₃ (C₄AF) содержится в клинкере 10...20%. По скорости гидратации он уступает алиту, но превосходит белит, прочность же его незначительна.

Некоторые сравнительные характеристики клинкерных минералов приведены в табл. 6 (все минералы твердели с добавкой гипса).

*Принято сокращенное написание формул химических соединений: CaO — С, SiO₂ — S, Al₂O₃ — А, Fe₂O₃ — F.

Таблица 6. Свойства клинкерных минералов

Минерал	Относительная прочность, %, при твёрдении в сроки*			Тепловыделение при гидратации за 28 сут, кДж/кг
	1 сут	28 сут	2 года	
C_3S	25	100	160	486
C_2S	0	20	190	168
C_3A	10	25	20	876
C_4AF	5	10	23	377

*За 100 % принята прочность алита через 28 сут твердения.

По этим характеристикам можно составить представление о том, как влияет количественное соотношение между минералами в клинкере на свойства цемента. Так, для получения быстротвердеющего цемента надо увеличить содержание в клинкере наиболее быстротвердеющих соединений, т.е. C_3S и C_3A . Такой цемент одновременно обладает и большим тепловыделением. Свойство быстрого твердения используют при производстве сборного железобетона на заводах, где важно сократить длительность технологического цикла. Бетон, изготовленный на цементе с высоким содержанием C_3S и C_3A , можно употреблять для работ в зимнее время: из-за большого тепловыделения цемента конструкция медленно остывает даже на морозе, и бетон набирает достаточно высокую прочность.

При бетонировании массивных конструкций важно предотвратить излишний саморазогрев бетона, который может вызвать его растрескивание. В этом случае применяют цемент с низким тепловыделением, т.е. относительно малым содержанием C_3S и C_3A .

Для получения морозостойких бетонов ограничивают в клинкере содержание C_3A . Кроме того, нормируют минеральный состав клинкера, чтобы повышать стойкость цементов против химической коррозии.

Помимо указанных основных соединений в клинкере присутствует свободный кристаллический оксид магния MgO (минерал периклаз), а также оксиды калия и натрия. Высокое содержание периклаза (более 5%), особенно в виде крупных кристаллов, представляет большую опасность. При взаимодействии с водой MgO увеличивается в объеме. Если эта реакция происходит в затвердевшем цементном камне, то возникают большие внутренние напряжения, что приводит к растрескиванию бетона.

Содержащиеся в клинкере щелочные оксиды K_2O и Na_2O опасны в том случае, когда в каменных заполнителях бетона (песке и гравии) есть опаловидный кремнезем $SiO_2 \cdot nH_2O$. Этот аморфный минерал взаимодействует со щелочами уже при нормальной температуре, причем объем продуктов реакции увеличивается, что также может вызвать

растрескивание бетона. Для исключения этого ограничивают суммарное содержание $K_2O + Na_2O$ в клинкере (не более 0,6%).

Минералы цементного клинкера способны энергично взаимодействовать с водой, образуя гидратные соединения. Клинкерные минералы растворяются в воде в большей или меньшей степени, а продукты гидратации цемента (так называемые новообразования или кристаллогидраты) в воде практически нерастворимы. В противном случае отвердевшие цемент или бетон не были бы водостойкими.

Процесс твердения цемента в соответствии с теорией твердения вяжущих, разработанной академиком А.А. Байковым, условно разделяется на три периода: подготовительный, коллоидации и кристаллизации.

В подготовительном периоде частицы цемента смачиваются водой и начинают растворяться с поверхности; со временем образуется насыщенный раствор. В этот период, длящийся 1...3 ч, цементное тесто пластично и легко поддается формованию.

В период коллоидации и концентрации гидратных новообразований в растворе возрастает. Гидратные новообразования обладают гораздо меньшей растворимостью в воде, чем исходные безводные соединения. Поэтому раствор, насыщенный по отношению к исходным соединениям, является пересыщенным по отношению к новообразованиям. Гидратные новообразования в виде мельчайших коллоидных частичек — субмикрорекристаллов — выделяются из раствора, образуя цементный гель.

Возникновение геля в большом количестве приводит к загустеванию цементного теста, которое утрачивает пластичность. Момент загустевания (схватывания) цементного теста наступает через 5...10 ч после затворения цемента водой. Прочность загустевшего теста в этот период еще невелика.

Период кристаллизации характеризуется дальнейшей гидратацией цемента. Образующийся гель постепенно преобразуется в кристаллические сростки. Число и поверхность контактов в кристаллах новообразований увеличивается, что приводит к заметному росту прочности цементного камня. Твердение цемента и материалов на его основе — бетона, строительного раствора при благоприятных условиях может продолжаться несколько лет.

Новообразования, формирующие кристаллический сросток в цементном камне, возникают в результате химических реакций гидролиза и гидратации минералов цементного клинкера. Гидролиз характеризуется расщеплением исходных минералов, а при гидратации идет лишь присоединение воды к исходному минералу.

Алит C_3S и белит C_2S при взаимодействии с водой подвергаются гидролизу. В результате реакций возникает соединение $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot X \cdot 3H_2O$, в состав которого входит химически связанная вода. Важно отметить, что это соединение (гидросиликат кальция), как и другие продукты гидратации цемента, представляет собой твердые вещества. Их называют кристаллогидратами.

Кроме гидросиликатов кальция при гидролизе алита и белита образуется гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в значительных количествах. Это обстоятельство имеет большое значение для формирования многих свойств затвердевшего цемента, о чем будет сказано ниже.

В результате гидратации трехкальциевого алюмината C_3A возникает гидроалюминат кальция. Реакция протекает чрезвычайно быстро. Гидроалюминат кальция образует пространственную структуру, пронизывающую цементное тесто. Оно утрачивает пластичность, и схватывание цемента может происходить уже через 1...2 мин после затворения.

Чтобы замедлить схватывание цемента, вводят в его состав гипсовый камень $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который связывает алюминат кальция. Так продолжается до тех пор, пока не будет израсходован весь гипс. Лишь после этого начинается интенсивное взаимодействие $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ с водой (но уже без гипса), которое приводит к схватыванию цемента.

Последний из клинкерных минералов — четырехкальциевый алюмоферрит C_4AF гидролизуется, и образуются гидроалюминат и гидроферрит кальция.

Таким образом, в результате взаимодействия цемента с водой получаются новые соединения, в состав которых входит химически связанная вода: гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, а также гидроксид кальция. Они и обуславливают формирование прочной структуры твердеющего цемента.

Ниже приведены наиболее важные выводы из рассмотренного процесса твердения портландцемента.

Все химические реакции взаимодействия клинкерных минералов с водой — экзотермические, т.е. сопровождаются выделением теплоты. Экзотермия цемента может рассматриваться и как положительное явление (например, при зимнем бетонировании), и как отрицательное (при бетонировании массивных конструкций или производстве работ в жаркую сухую погоду).

К одному из продуктов взаимодействия силикатных минералов (алита и белита) с водой относится гидроксид кальция. Это значит, что в результате твердения в цементном камне всегда возникает щелочная среда. Данное явление также имеет свои плюсы и минусы. В щелочной среде, как известно, не происходит коррозии железа. Поэтому бетоны на портландцементе (и его разновидностях) хорошо защищают стальную арматуру от коррозии. Это одно из основных условий высокой долговечности железобетона.

С другой стороны, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сравнительно легко подвергается коррозии в агрессивных средах и даже может вымываться водой. Поэтому для повышения стойкости бетона к коррозии приходится вводить в цемент особые добавки, связывающие $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в более стойкие соединения. Таким путем получают, например, пуццолановый портландцемент.

Затворение цементного порошка водой — это необходимое условие образования прочного цементного камня, но избыточное количество воды не увеличивает, а уменьшает его прочность. Это вызвано тем,

что цемент способен химически связать не любое, а строго ограниченное количество воды — максимум 25...30% (считая от массы сухого цемента). Химически связанная вода входит в состав твердой фазы — новообразований цементного камня. Эти новообразования и формируют (синтезируют) прочность цемента.

Вся оставшаяся вода, содержащаяся в цементном тесте или камне, остается в жидком состоянии. Впоследствии, при высыхании бетона, вода испаряется, в результате чего в структуре цементного камня образуется система тончайших пор. Чем больше введено при затворении воды, тем большей окажется пористость и, следовательно, ниже прочность и стойкость цементного камня и бетона.

Свойства портландцемента. К важнейшим техническим характеристикам цемента относятся плотность, тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, прочность и химическая стойкость к коррозии.

Истинная плотность ρ портландцемента колеблется в пределах 3,05...3,15 г/см³. В среднем принимают $\rho = 3,1$ г/см³.

Насынная плотность порошка ρ_n зависит от степени уплотнения. Для рыхлонасыпного цемента она составляет 1,1 г/см³, сильно уплотненно — 1,6 г/см³. В расчетах принимают среднее значение $\rho_n = 1,3$ г/см³.

Тонкость помола, т.е. степень дисперсности цемента, оказывает большое влияние на его свойства: скорость твердения, прочность. Тонкость помола портландцемента характеризуют его зерновым составом и удельной поверхностью. Зерновой состав определяют путем просеивания пробы цемента через сито с очень тонкими ячейками — 0,008 мм (80 мкм). Основная часть пробы (не менее 85%) должна пройти сквозь такое сито. Это означает, что современный портландцемент отличается очень тонким помолом, т.е. размер его зерен в среднем составляет 20...40 мкм. Удельная поверхность такого цемента 2500...3000 см²/г. Промышленность выпускает специальные цементы и более тонкого помола, например быстротвердеющий.

Водопотребность цемента отражает его способность адсорбировать на поверхности частиц определенное количество воды. Плотность зерен портландцемента 3,1 г/см³, воды — 1 г/см³. Если затворить цемент излишним количеством воды, то лишь некоторая ее часть будет удерживаться адсорбционными и капиллярными силами. Под действием гравитации частицы цемента оседают, а вода вытесняется вверх. Наступает *седиментация*, т.е. расслоение теста, которое приводит к выделению излишней воды на поверхности бетонной смеси или раствора. Явление водоотделения крайне нежелательно, поскольку вода, скапливаясь на верхней поверхности конструкций, делает бетон рыхлым и пористым. Впоследствии бетон наиболее интенсивно разрушается именно в этих местах.

Водопотребность цемента характеризуют относительным количеством воды (в %) для получения цементного теста нормальной густоты. Тесто нормальной густоты обладает такой пластичностью, что цилиндрический стержень (пестик) стандартного прибора Вика при погружении

в тесте не доходит до дна прибора на 5...7 мм. Содержание воды в тесте нормальной густоты соответствует ее максимальному количеству, которое цемент может удержать с помощью химических и физико-химических (адсорбционных и капиллярных) сил. Поскольку в таком тесте еще нет водоотделения, цементное тесто нормальной густоты, скатываемое в шарик, не прилипает к ладони.

Водопотребность портландцемента 22...28 %.

Свойство водопотребности цемента имеет важное практическое значение при изготовлении бетонной смеси и раствора. Применяя цементы с низкой водопотребностью, можно изготовить бетонную смесь с относительно небольшим расходом воды. При отвердевании получают бетон с высокой прочностью и стойкостью, так как пористость его невелика. Напротив, цементы с высокой водопотребностью, в частности пуццолановый портландцемент, у которого она достигает 40 %, отличаются высокой пористостью, и бетон на основе такого цемента оказывается неморозостойким.

Сроки схватывания цемента характеризуют промежуток времени, в течение которого интенсивно изменяются пластические свойства цементного теста. Различают начало и конец схватывания. В строительной лаборатории сроки схватывания цемента определяют на приборе Вика по глубине погружения в цементное тесто стандартной стальной иглы диаметром 1,13 мм. Началом схватывания считается промежуток времени от затворения цемента водой до того момента, когда игла под действием силы тяжести уже не может полностью погрузиться в цементное тесто нормальной густоты (не доходит до дна прибора на 1...2 мм). Конец схватывания отсчитывают по времени, прошедшему от затворения до момента, когда игла Вика лишь слегка, на 1...2 мм, погружается в затвердевшее тесто или камень.

На стройке можно определить сроки схватывания цемента упрощенным способом. Для этого на цементном тесте делают каждые 5 мин легкие надрезы стальным ножом. Начало схватывания соответствует моменту, когда надрезы перестанут запылять. Продолжая далее делать легкие, без нажима, надрезы с интервалом 15 мин, замечают, когда нож перестает оставлять след на поверхности цементного камня. Это и будет конец схватывания.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178-85 начало схватывания портландцемента должно наступать не ранее чем через 45 мин после затворения, конец схватывания — не позднее чем спустя 10 ч. Сроки схватывания портландцемента регулируют путем введения добавки гипса. На скорость схватывания цемента влияют температура и содержание воды в тесте. При повышении температуры сроки схватывания сокращаются. Поэтому при бетонных работах в сухую жаркую погоду употребляют цемент, начало схватывания которого наступает не ранее чем через 1,5 ч после затворения. Это позволяет в установленные проектом сроки укладывать бетонную смесь в пластичном состоянии и качественно проводить бетонные работы. Если смесь укладывать после

начала схватывания, то, утратив пластичность, она при укладке будет деформироваться с нарушением сплошности структуры. В результате в теле бетона образуются разрывы, трещины и другие дефекты механического происхождения, что отрицательно скажется на прочности и долговечности конструкции.

Также важно обеспечить заданные сроки схватывания при транспортировании бетонных смесей автобетоновозами, передвижными бетоносмесителями, перекачивании бетононасосами. Преждевременное схватывание может привести к выходу оборудования из строя, и будет непроизводительно потрачено время на приведение установок в работоспособное состояние.

Сроки схватывания увеличиваются, если для затворения цемента взято больше воды. Объясняется это тем, что при избытке воды возрастает объем пространства в тесте, которое должно быть заполнено новообразованиями. Прочность цементного камня формируется в момент, когда кристаллогидраты образуют пространственную непрерывную структуру. Ясно, что для формирования такой структуры при большем объеме пространства требуется и большее время.

Однако при избытке воды в цементном тесте (или бетонной смеси) прочность затвердевшего камня (бетона) тем меньше, чем больше введено воды. Поэтому увеличивать количество воды в тесте или бетонной смеси ради удлинения сроков схватывания нерационально. Целесообразно применять для этого специальные добавки — замедлители схватывания.

В практике бетонных работ иногда наблюдается ложное схватывание цемента, т.е. загустевание цементного теста или бетонной смеси в сроки, гораздо более короткие, чем предусмотрено стандартом (раньше 45 мин). Это объясняется тем, что в состав такого цемента входит полуводный гипс, а не гипсовый камень. Полуводный гипс быстро взаимодействует с водой, образуя пространственную малопрочную структуру, что и приводит к потере пластичности цементного теста уже через 10...20 мин после затворения. При последующем перемещении, особенно с небольшой добавкой воды, тесто восстанавливает пластичность и затвердевает, как обычно.

Чтобы не допустить ложного схватывания, помол и хранение цемента осуществляют при пониженной температуре. Во время бетонных работ в жаркое время года ограничивают предельную температуру цемента (не более 50 °С).

Прочность — основная характеристика цемента как материала для изготовления бетонных и железобетонных конструкций. Для ее оценки используют стандартную характеристику цемента — марку. Цемент всегда употребляют в сочетании с заполнителями. Чтобы определить марку цемента, изготавливают смесь из цемента и стандартного кварцевого песка в соотношении 1:3 по массе. Затворяют эту смесь водой, которую берут в количестве 40 % от массы цемента. Таким образом, соотношение между водой и цементом составляет 0,4. Из смеси изготавливают призм

матические образцы размерами 40x40x160 мм, которые называют балочками (рис. 7, а). Первые сутки после изготовления балочки твердеют во влажном воздухе, а в течение 27 сут — в воде комнатной температуры. Через 28 сут балочки испытывают на изгиб, а образовавшиеся при этом половинки балочек — на сжатие с помощью стандартных прокладок (рис. 7, б, в).

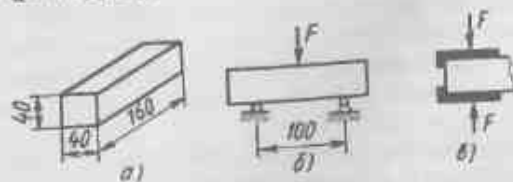


Рис. 7. Определение марки цемента: а — внешний вид образцов, б — схема испытания на изгиб, в — на сжатие (размеры в мм)

Прочность портландцемента стандартных марок охарактеризована в табл. 7.

Таблица 7. Прочность портландцемента

Марка	Предел прочности через 28 сут, МПа (кгс/см ²), не менее	
	при сжатии	при изгибе
400	39,2 (400)	5,4 (55)
500	49,0 (500)	5,9 (60)
550	53,9 (550)	6,1 (62)
600	58,8 (600)	6,4 (65)

При определении марки учитывают одновременно оба показателя — пределы прочности при сжатии $R_{сж}$ и изгибе $R_{из}$. Если один из них меньше указанного в табл. 7, то цемент относят к меньшей марке. Например, при испытании получены значения $R_{сж} = 51$ МПа и $R_{из} = 6,3$ МПа. Следовательно, цемент будет марки 500 (а не 550).

Прочность цемента при соответствующих условиях внешней среды со временем возрастает (рис. 8). Нормальными условиями твердения цементных материалов (строительного раствора и бетона) считают температуру около 20 °С и относительную влажность воздуха 95...100%. При понижении температуры замедляются химические реакции взаимодействия цемента с водой. Это выражается в недоборе прочности (сравните кривые 1 и 2). Для ускорения твердения бетонные изделия обрабатывают насыщенным паром при температуре 60...90 °С. Пропаривание позволяет за 10...12 ч получить распалубочную прочность бетона, составляющую 70% от проектной 28-суточной (кривая 3). Тепловую обработку изделий надо проводить в условиях, исключающих высушивание

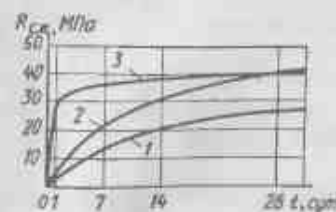


Рис. 8. Рост прочности цемента во времени: 1 — твердение при температуре 5 °С, 2 — нормальное твердение при 20 °С, 3 — пропаривание при 85 °С

бетона, так как вода необходима для синтеза кристаллогидратов цементного камня.

Возрастание прочности с течением времени — важное свойство цемента и материалов на его основе. Этим цементные материалы принципиально отличаются от других каменных материалов — природных (гранита, известняка и др.) и искусственных (керамики, стекла), у которых однажды сформированная прочность может со временем под воздействием разрушительных факторов среды только уменьшаться.

Цемент же при благоприятных условиях твердения продолжает гидратироваться. В результате увеличивается объем кристаллического сростка гидратных новообразований, а объем промежутков между ними, наоборот, сокращается. Таким образом, физическая причина увеличения прочности связана с уменьшением пористости цементного камня. Снижая пористость, можно существенно повысить его прочность. Так, методом горячего прессования при температуре 250 °С и давлении 350 МПа в лабораториях получают цементный камень с очень низким водоцементным отношением — менее 0,1. Пористость такого камня всего 2...4%, а прочность очень высокая: через 1 сут $R_{сж} = 412$ МПа, через 90 сут — 655 МПа. Это более чем в 10 раз превосходит самую высокую прочность цемента (60 МПа) и бетона (60...80 МПа), получаемую при стандартных испытаниях. Следовательно, вяжущие свойства цемента используют далеко не полностью.

Из-за развитой системы пор и капилляров цементный камень сравнительно легко проницаем для воды, агрессивных жидкостей и газов, которые могут вызвать его коррозию.

Химическая стойкость цементного камня характеризуется отношением его к коррозионным воздействиям, которые подразделяются на три основных вида.

Коррозия первого вида связана с разложением новообразованной цементного камня, растворением и вымыванием (выщелачиванием) из него $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Такая коррозия развивается наиболее интенсивно в мягких водах (дождевых, талых), содержащих наибольшее количество солей. Под действием проникающих в бетон мягких вод растворяется наименее стойкое соединение $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Вслед за этим разлагаются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Наиболее эффективное средство борьбы с выщелачиванием — введение в состав цемента добавок, связывающих $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в более стойкие соединения. Такие добавки, называемые активными минеральными, будут рассмотрены в § 7.

Коррозия второго вида обусловлена взаимодействием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и других составных частей цементного камня с агрессивными веществами внешней среды. В результате этого образуются легкорастворимые соединения, которые вымываются из цементного камня, тем самым ослабляя его. К этому виду относится, например, кислотная и магниезильная коррозия.

Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий. Кислотная среда может также возникнуть при конденсации на поверхности конструкций влаги, если в атмосфере содержатся агрессивные вещества — хлор, хлорид водорода, сернистый газ SO_2 . Такая атмосфера характерна для современных промышленных центров. Попадающая в бетон кислота взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Образующийся при этом хлорид кальция легко растворяется в воде и вымывается.

Коррозия третьего вида характеризуется тем, что в результате взаимодействия со средой в порах цементного камня возникают новые твердофазные соединения, объем которых намного больше объема исходных продуктов реакции. Кристаллы этих соединений, увеличиваясь в объеме, давят на стенки пор, вызывая большие внутренние напряжения и растрескивание бетона.

Наиболее ярко коррозия третьего вида проявляется при действии на цементный камень сульфатных вод (сульфатная коррозия). Вероятность сульфатной коррозии учитывают при строительстве морских гидротехнических сооружений, возведении фундаментов в районах, где грунтовые воды содержат сульфаты натрия или кальция. В этих случаях применяют сульфатостойкий портландцемент.

§ 6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

В ряде случаев (например, при воздействии агрессивной среды, необходимости значительно ускорить темп набора прочности бетона) использование обычного портландцемента неэффективно. Поэтому употребляют портландцементы специальных видов.

Чтобы придать портландцементу определенные свойства, регулируют минеральный состав клинкера, вводят в цемент минеральные и органические добавки, изменяют дисперсность и зерновой состав цемента.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) изготавливают из клинкера с повышенным содержанием быстротвердеющих минералов C_3S и C_3A (в сумме 60...65%). БТЦ отличается более тонким помолом: его удельная поверхность достигает 3500...4000 $\text{см}^2/\text{г}$ против 3000 $\text{см}^2/\text{г}$ у обычного портландцемента. Благодаря этому увеличивается площадь контакта цементных частиц с водой и скорость твердения его возрастает.

Выпускают БТЦ марок 400 и 500. Прочность его нормируют в сроки 3 и 28 сут. БТЦ отличается высоким темпом набора прочности в первые 3...7 сут (рис. 9). При помоле в БТЦ вводят активные минеральные добавки (до 10...20%) или доменные гранулированные шлаки (до 20% от массы цемента). Это удешевляет БТЦ.



Рис. 9. Темпы твердения БТЦ (1) и обычного портландцемента (2) марок 500

БТЦ применяют при производстве сборных железобетонных конструкций. Благодаря повышенному содержанию в клинкере C_3S и C_3A быстротвердеющий портландцемент обладает большим тепловыделением и его применяют при бетонировании в зимних условиях, особенно при температуре ниже -25°C . Свойство БТЦ быстро набирать прочность используют и в случае аварийно-восстановительных работ. При хранении в течение 1...2 месяцев БТЦ утрачивает свойство быстро твердеть и набирает прочность как обычный портландцемент. Следовательно, хранить БТЦ длительное время нецелесообразно.

Однако в ряде случаев применять БТЦ нельзя. Из-за высокого содержания в клинкере C_3S и C_3A при гидратации образуется большое количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидроалюминатов кальция, что делает цементный камень нестойким к химической коррозии. Поэтому БТЦ употребляют лишь для конструкций, работающих в неагрессивной среде.

Из бетона, изготовленного на БТЦ, не выполняют массивные конструкции. Чрезмерное тепловыделение вызывает сильный разогрев ядра таких конструкций, в то время как внешние поверхности охлаждаются. Из-за большого перепада температур в теле бетона могут возникнуть термические напряжения, что приводит к растрескиванию конструкции.

В последние годы для ускорения твердения бетона стали применять цементы с добавками — крентами. Они содержат безводный трехкальциевый сульфогипс, сульфогипс, смесь сернокислого глинозема и сернокислого железа. При помоле клинкера обычного портландцемента вводят 2...5% добавок. Они не только ускоряют твердение, но и повышают прочность цемента на 5...10 МПа, т.е. на целую ступень. Применение таких цементов на заводах и стройках позволит отказаться от пропаривания изделий и тем самым сократить затраты топлива и электроэнергии.

Сульфатостойкий портландцемент применяют при изготовлении конструкций, подверженных действию сульфатных вод, а также морозостойкого бетона. Стойкость против сульфатной коррозии обеспечивается особым минеральным составом клинкера: в нем ограничивают содержание алюминатов (C_3A не более 5%, $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$ не более 22%). Для увеличения стойкости цемента против коррозии первого и второго видов в клинкере также ограничивают количество алита — не более 50% от массы клинкера.

Поскольку количество C_3S , C_3A и C_4AF ограничено, возрастает относительное содержание в клинкере C_2S . Белит медленно набирает

прочность и выделяет при гидратации мало теплоты. Поэтому сульфатостойкий портландцемент характеризуется по сравнению с портландцементом пониженным темпом роста прочности и меньшей экзотермией. Его выпускают марки 400.

Белый и цветные портландцементы используют для повышения архитектурной выразительности зданий и сооружений. Серый цвет обычных цементов обусловлен наличием в составе исходного сырья оксидов железа и марганца. Чтобы получить белый портландцемент, в качестве сырья применяют карбонатные и глинистые породы (мел, каолиновые глины), содержащие оксиды железа и марганца в ничтожно малом количестве. Получаемый при обжиге такого сырья белый клинкер размалывают совместно с гипсом белых сортов, иногда добавляют белый диатомит (не более 6 %).

Белый портландцемент выпускают марок 400 и 500. Степень белизны цемента зависит от коэффициента отражения и составляет для белого портландцемента 1-го сорта не меньше 80 % абсолютной шкалы, 2-го сорта — 75, 3-го — 68 %.

Цветные портландцементы получают, размалывая совместно белый клинкер и добавки минеральных или органических красителей. Выпускают портландцементы красного, желтого, зеленого, голубого, розового, коричневого и черного цветов, т.е. практически всех основных цветов спектра. Марки цементов 300, 400 и 500.

Сроки схватывания белого и цветных портландцементов практически такие же, как и обычного: начало — не ранее 45 мин, конец — не позднее 12 ч. По сравнению с портландцементом белый и цветные цементы обладают пониженной морозостойкостью, хуже сопротивляются коррозии, в большей степени подвержены усадке.

Портландцементы с органическими добавками изготавливают путем введения при помоле клинкера небольших количеств (0,05...0,3 % от массы цемента) поверхностно-активных веществ. Эти вещества пластифицируют бетонные и растворные смеси, улучшают их удобоукладываемость. Кроме того, бетоны и строительные растворы, изготовляемые на цементах с органическими поверхностно-активными добавками, отличаются повышенной морозостойкостью и сопротивляемостью коррозии.

Чаще используют поверхностно-активные добавки двух типов: гидрофилизующие и гидрофобизирующие. Цементные зерна, покрытые пленкой поверхностно-активных веществ, приобретают особые свойства по отношению к действию воды: они становятся либо более гидрофильными, либо более гидрофобными. Названия этих терминов происходят от греческих слов *гидро* — вода, *филю* — люблю, *фобос* — боязнь, страх. Таким образом, слово *гидрофильный* означает буквально любящий воду, т.е. смачиваемый, а *гидрофобный* — боящийся воды, т.е. несмачиваемый.

В качестве гидрофилизующей добавки при изготовлении цемента используют лигносульфонаты технические (ЛСТ), ранее называвшиеся СДБ — сульфитно-дрожжевой бражкой. ЛСТ — побочный продукт при

варке целлюлозы, представляет собой густую темно-коричневую жидкость. ЛСТ улучшает смачиваемость частиц цемента водой и одновременно ослабляет силы взаимного сцепления между ними. В результате увеличивается пластичность цементного теста.

При помоле клинкера портландцемента вводят 0,25 % добавки ЛСТ. Полученный цемент называют пластифицированным. Марки пластифицированного портландцемента обычные, т.е. от 400 до 600. Лучше всего применять его для конструкций речных гидротехнических сооружений, подвергающихся попеременному воздействию замораживания — оттаивания или увлажнения — высыхания. Бетон на пластифицированном портландцементе отличается меньшей пористостью и проницаемостью для воды, поэтому и долговечность его выше.

Гидрофобный портландцемент содержит 0,1...0,3 % гидрофобизирующей поверхностно-активной добавки.

К гидрофобизирующим добавкам относят мылонафт, асидол, асидол-мылонафт, синтетические жирные кислоты, кремнийорганические жидкости. Молекулы этих веществ адсорбируются на поверхности цементных частиц особым образом: их углеводородные радикалы всегда ориентированы наружу. Благодаря этому цемент приобретает водоотталкивающие свойства.

Гидрофобный портландцемент легко отличить от обычного, проделав пробу на гидрофобность. Для этого на поверхность цементного порошка наносят каплю воды (рис. 10). Обычный портландцемент смачивается водой, угол смачивания θ меньше 90° . Через несколько секунд капля впитывается. Гидрофобный портландцемент удерживает каплю воды по меньшей мере 5 мин, θ больше 90° .

Рис. 10. Проба на гидрофобность:
а — обычный портландцемент, б — гидрофобный



В процессе приготовления бетонных смесей и раствора тонкие гидрофобные пленки на поверхности цементных частиц снимаются и не препятствуют нормальному процессу твердения цемента.

Гидрофобный портландцемент выпускают тех же марок, что и обычный, но чаще марки 400. Поскольку он обладает пластифицирующим действием, бетон на таком цементе получается более плотным и долговечным. Кроме того, со временем гидрофобный цемент практически не теряет активности, поэтому особенно удобен при длительном хранении и транспортировании. Его используют для изготовления конструкций повышенной стойкости.

§ 7. ЦЕМЕНТЫ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Изготовление портландцемента — сложный энергоёмкий процесс, требующий больших затрат топлива. На обжиг 1 т клинкера затрачива-

ется около 226 кг условного топлива, на помол — до 30 кВт · ч электроэнергии. Чтобы снизить энергетические и материальные затраты, изготовляют цементы составного типа, т.е. такие, которые кроме клинкерной части содержат минеральные добавки. Расход топлива на сушку 1 т этих добавок составляет всего 20...25 кг, т.е. более чем в 10 раз меньше, чем на обжиг клинкера. Замена часть клинкера минеральной добавкой, значительно экономят топливо и электроэнергию.

Среди веществ этой группы различают активные минеральные добавки и добавки-наполнители (табл. 8).

Т а б л и ц а 8. Классификация минеральных добавок

Активные минеральные добавки		Добавки-наполнители		
природные		искусственные	природные	искусственные
вулканического происхождения	осадочного происхождения			
Вулканического пепел, вулканический туф, пемза, гравес, витрофир	Диатомит, трепел, опока, глиеж	Гранулированный доменный и электротермофосфорный шлаки, нефелиновый шлам, кислые зола ТЭС	Молотый известняк, кварцевая мука, изверженные горные породы, глина	Промышленные отходы (топливные шлаки и зола)

Активными минеральными добавками называют вещества, которые при смешивании с воздушной известью придают ей после затвердевания водостойкость. Воздушную известь нельзя применять во влажных условиях, но при введении активных минеральных добавок она приобретает гидравлические свойства. Такие добавки (называемые иначе гидравлическими, или пуццолановыми) содержат кремнезем в аморфном состоянии. Он активно взаимодействует с гидроксидом кальция, содержащимся в извести или выделяющимся при гидратации портландцемента. Возникающие при этом гидросиликаты кальция практически не растворимы в воде. Таким образом, растворимая составляющая цементного камня $\text{Ca}(\text{OH})_2$ переводится в нерастворимое соединение. В этом смысле использование активных минеральных добавок: экономя клинкерную часть, они в то же время придают цементу ряд особых свойств.

Добавки-наполнители не обладают гидравлическими свойствами (либо эти свойства выражены у них в очень слабой степени). Активность смешанного вяжущего уменьшается пропорционально количеству введенных добавок-наполнителей. Их используют для снижения расхода цемента в растворах и бетонах низких марок, а также при изготовлении специального цемента для строительных растворов.

При введении различных добавок получают портландцемент с минеральными добавками, пуццолановый портландцемент, а также шлакопортландцемент (табл. 9).

Т а б л и ц а 9. Вещественный состав и марки цементов с минеральными добавками

Цемент	Марки	Активные минеральные добавки, % от массы цемента			
		всего	в том числе		
			доменные гранулированные и электротермофосфорные шлаки	осадочного происхождения, кроме глиежа	прочие активные, включая глиеж
Портландцемент с минеральными добавками до 5 %	300, 400, 500, 550, 600	До 5	До 5	До 5	До 5
То же, до 20 %	То же	Свыше 5 до 20	До 20	До 10	До 20
Пуццолановый портландцемент	300, 400	Свыше 20 до 40	Нет	Свыше 20 до 30	Свыше 25 до 40
Шлакопортландцемент	300, 400, 500	Свыше 20 до 80	Свыше 20 до 80	До 10	До 10

Портландцемент с минеральными добавками близок по свойствам к обычному, поскольку количество добавок в нем невелико. Он имеет те же марки и область применения, что и портландцемент, но благодаря добавкам несколько дешевле.

Пуццолановый портландцемент изготовляют путем совместного помола клинкера, активной минеральной добавки и необходимого количества гипса. Благодаря связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые гидросиликаты кальция такой портландцемент обладает повышенной стойкостью к химической коррозии и поэтому входит в группу сульфатостойких цементов. Наиболее целесообразная область его применения — подводные и подземные части сооружений. Зачастую используют пуццолановый портландцемент в бетонах внутренних частей массивных сооружений, поскольку у него сравнительно небольшое тепловыделение.

Однако бетоны на пуццолановом портландцементе обладают низкой морозостойкостью и не пригодны для возведения сооружений, подвергающихся частому замораживанию и оттаиванию. На воздухе, особенно

в жарком климате, бетон на пуццолановом портландцементе дает большую усадку и частично теряет прочность. При зимних бетонных работах пуццолановый портландцемент целесообразно применять, так как он твердеет медленнее, чем портландцемент.

Шлак портландцемент способен твердеть как на воздухе, так и в воде. Это вяжущее общестроительного назначения, используемое в основном для тех же целей, что и портландцемент. Его получают путем совместного измельчения портландцементного клинкера, доменного гранулированного шлака и необходимого количества гипса. Содержание доменного шлака может достигать 80% от массы цемента. Такая большая дозировка шлака возможна вследствие особенностей его химического состава, близкого к клинкеру. В доменных шлаках преобладают оксиды кальция (30...50%), кремния (28...30%), алюминия (8...24%), т.е. те же компоненты, что и в клинкере портландцемента. Поэтому некоторые шлаки в тонкоразмолом виде обладают способностью к самостоятельному гидравлическому твердению.

Шлак, применяемый как добавка к цементу, обязательно переводят из огненно-жидкого в твердое состояние путем быстрого охлаждения в воде или с помощью водяного пара. Эта операция называется *грануляцией*, так как шлаковый расплав распадается на отдельные гранулы. Получаемый таким путем шлак обладает стекловидной, т.е. химически активной, структурой. Поэтому гранулированный шлак является активным компонентом шлакопортландцемента.

Шлаки — ценнейший материал для строительства. Крупный советский металлург академик И.П. Бардин указывал, что шлак — это вовсе не отход, это тысячи новых домов, это база для дальнейшего расширения строительства. Использование шлаков для изготовления цементов позволяет, с одной стороны, получать высококачественные и недорогие цементы, бетоны, строительные растворы; с другой стороны, оно имеет важное экологическое значение, так как высвобождает ранее занятые шлаковыми отвалами ценные земельные площади.

Шлакопортландцемент рекомендуется применять в бетонах для возведения надземных и подземных конструкций, а также в подводных сооружениях, подвергающихся действию пресных и минерализованных вод. Тепловыделение его в 2...2,5 раза меньше, чем у портландцемента, поэтому его часто используют в бетоне массивных конструкций.

Однако шлакопортландцемент имеет тот же недостаток, что и пуццолановый портландцемент: он медленно набирает прочность в первые дни твердения, в особенности при пониженной температуре. Процесс твердения значительно ускоряют, применяя тепловую обработку бетона.

Экономически применять шлакопортландцемент очень выгодно, поскольку он на 15...20% дешевле портландцемента.

Цемент для строительных растворов (ГОСТ 25328-82) изготовляют путем совместного измельчения портландцементного клинкера, активных минеральных добавок и добавок-наполнителей. Содержание клинкера в цементе должно быть не менее 20% (счи-

тая от массы всего вяжущего). Для регулирования сроков схватывания при помоле компонентов вводят 3...5% гипса от массы цемента.

При изготовлении этого цемента употребляют активные минеральные добавки — трепел, вулканический пепел, доменный гранулированный шлак. Особенность цемента для строительных растворов — наличие в его составе тонкомолотых добавок-наполнителей: кварцевого песка, мрамора или кристаллического известняка. Такие добавки необходимы для снижения активности вяжущего, поскольку в строительных растворах применять высокомарочные цементы экономически невыгодно.

Для улучшения качества цемента допускается вводить при его помоле пластифицирующие (не более 0,5%) или гидрофобизирующие (до 0,3%) добавки (ЛСТ, мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот).

Такой цемент характеризуется следующими сроками схватывания: начало не ранее 45 мин, конец — не позднее 12 ч от момента затворения. Цемент должен хорошо удерживать воду: водоотделение теста, изготовленного из равных количества цемента и воды, должно быть не более 30% по объему. Выпускают цемент одной марки — 200.

В связи с замедленным твердением этот цемент используют, как правило, при температуре окружающей среды не ниже 10°C для изготовления кладочных и штукатурных растворов, а также низкомарочных бетонов, к которым не предъявляют особых требований по морозостойкости.

§ 8. ПРИЕМКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ ЦЕМЕНТОВ

Все цементы поставляют на строительство партиями. Размер партии составляет 3000...4000 т в зависимости от производительности цементного завода. Каждую партию цемента завод сопровождает паспортом, в котором указывает полное название цемента, его гарантированную марку, вид и количество добавки, нормальную плотность цементного теста. Потребитель цемента имеет право проверить его качество. Отобранные для этой цели пробы отправляют в специализированные организации по государственным испытаниям цемента.

При транспортировании цемент должен быть защищен от воздействия влаги и загрязнения. Хранят цементы всегда раздельно по маркам и видам. Не допускается смешивать разные цементы, так как это может привести к непредсказуемому результату.

Иногда на стройке возникает необходимость определить вид цемента. Точное диагностирование проводят в строительной лаборатории, но по некоторым признакам это можно сделать и в полевых условиях (табл. 10).

В некоторых случаях на стройку или завод поступает некачественный цемент. При этом необходимо помнить, что во время длительного хранения под воздействием влаги воздуха цемент частично гидратируется. Это связано с большой гигроскопичностью тонкого цементного порошка. Конденсирующаяся на частях цемента вода реагирует в первую очередь с алюминатом натрия и алитом. Возникающие пространственные новообразования скрепляют частицы цемента и образуют комки. Явления усугубляются тем, что образующийся $\text{Ca}(\text{OH})_2$ под влиянием

Т а б л и ц а 10. Диагностические признаки некоторых видов цемента

Определяемые реакции и характеристики	Портланд-цемент	Пудшопановый портланд-цемент	Гидрофобный портландцемент	Шликерпортланд-цемент
Цвет	Серовато-зеленоватый	Светло-серый	Светло-серый	Серый с голубоватым оттенком
Действие воды	Хорошо смешиваются с водой		В воде образует плохо смачиваемые комочки	Хорошо смешивается с водой
Действие магнита	К магниту не пристаёт			Частично прилипает к магниту
Насыпная плотность, г/см ³	1,2...1,4	0,9...1,1	1,2...1,3	1,1...1,3
Нормальная густота теста, %	21...27	30...40	24...30	23...32

углекислоты воздуха переходит в карбонат кальция CaCO_3 . На поверхности цементных зерен образуется карбонатная пленка, плохо растворимая в воде. Поэтому лежалый цемент после затворения набирает прочность очень медленно. Абсолютное значение прочности оказывается ниже марочной.

В лежалом цементе содержатся многочисленные твердые и весьма прочные комочки, которые при затворении водой не распадаются, ухудшая качество бетонных смесей и затвердевшего бетона.

Лучше других сохраняется гидрофобный портландцемент. Он практически не комкуется долгое время, так как гидрофобизирующая добавка делает его малогигроскопичным.

Использовать лежалые цементы для изготовления бетонов и строительных растворов не разрешается. При крайней необходимости можно восстановить их первоначальные свойства, размалывая лежалые цементы в шаровых или вибрационных мельницах. Иногда для этой цели затворяют бетонные смеси водой, содержащей небольшую добавку соляной кислоты, которая и растворяет карбонатную пленку на поверхности цементных частиц. Указанные способы восстановления активности цемента связаны с новыми затратами сырья и энергии. Гораздо удобнее и дешевле хранить цементы в нормируемых стандартом условиях, т.е. исключить возможность их увлажнения.

§ 9. СТРОИТЕЛЬНАЯ ИЗВЕШТЬ, ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ И ЖИДКОЕ СТЕКЛО

В ряде случаев целесообразно использовать вяжущие вещества, более дешевые, чем портландцемент и его разновидности, или обладающие

специальными свойствами. К таким вяжущим относятся строительная известь (воздушная и гидравлическая), гипсовые вяжущие, жидкое стекло.

Строительную известь получают путем обжига кальцево-магнеливых карбонатных пород при температуре $900...1200^\circ\text{C}$, не доводя материал до спекания. Исходным сырьем для изготовления строительной извести служат горные породы, в составе которых преобладают карбонаты кальция (CaCO_3) и магния (MgCO_3): мел, известняк, доломит, мергелистый известняк. В этих породах могут находиться примеси глины в различных количествах (до 20%), что оказывает влияние на качество получаемого после обжига вяжущего. При содержании глины до 6% получают воздушную известь, а если в карбонатном сырье находится 6...20% глинистых примесей, — гидравлическую.

В процессе обжига карбонатная порода под действием высокой температуры разлагается по реакции $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$. Углекислый газ удаляется из печи вместе с продуктами горения. По такой же схеме происходит и диссоциация MgCO_3 . Основным продуктом обжига — воздушная известь — состоит, таким образом, из оксидов кальция и магния. В зависимости от соотношения $\text{CaO}:\text{MgO}$ различают воздушную известь следующих типов: кальцевую, в которой преобладает CaO , магниевую (MgO от 5 до 20%) и доломитовую (MgO в пределах 20...40%). К наиболее высококачественной относится кальцевая воздушная известь.

Различают негашеную и гашеную (гидратную) воздушную известь. Негашеная известь, в состав которой входят CaO и MgO , бывает двух видов: комовая (куски размером 10...20 мм) и молотая.

Гашеную известь, которую чаще всего употребляют в строительстве, получают, воздействуя на комовую негашеную известь водой: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$.

Процесс сопровождается выделением теплоты в больших количествах — до 1160 кДж/кг. Известковая масса сильно разогревается, и крупные комья самопроизвольно распадаются на тонкие частицы размером 5...20 мкм (это меньше, чем у портландцемента). Воздушная известь — единственное минеральное вяжущее, которое можно измельчать не механическим, а химическим путем, т.е. используя скрытую в материале химическую энергию.

Взяв для затворения комовой извести разное количество воды, получают гашеную известь различных типов. Гидратная известь (пушонка) — очень тонкий и легкий порошок, который образуется при гашении извести относительно небольшим количеством воды (1 часть воды на 1 часть извести). Последовательно увеличивая количество воды, приготавливают известковое тесто, известковое молоко и известковую воду.

Известковое тесто обладает высокой пластичностью (жирностью), что обусловлено содержанием в нем ультрамикронных частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ размером 0,02...0,5 мкм. Это специфическое свойство теста используют для пластификации строительных растворов.

Основные показатели качества воздушной извести — содержание активных оксидов кальция и магния, а также неогасившихся зерен (табл. 11). Чем выше содержание $\text{CaO} + \text{MgO}$, тем пластичнее известковое тесто и выше сорт извести. Неогасившиеся частицы могут быть двух видов: недожог и пережог. *Недожог* — неразложившиеся при обжиге частицы CaCO_3 и MgCO_3 . В известковом тесте они представляют собой балласт. Некоторая часть извести может оказаться в пережженном состоянии. *Пережог* представлен частицами CaO и MgO в плотном, остеклованном виде, в то время как нормально обожженные куски извести пористые. Взаимодействие пережженных частиц с водой происходит очень медленно, но сопровождается увеличением объема. Это опасно, так как может вызвать местные разрушения в уже затвердевшем известковом растворе, так называемые "дугники".

Т а б л и ц а 11. Показатели качества воздушной извести

Показатели	Нормы для извести		
	1-го сорта	2-го сорта	3-го сорта
Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, %, не менее	90	80	70
Содержание неогасившихся зерен, %, не более	7	11	14

По скорости гашения v_g различают известь быстрогасящуюся ($v_g < 8$ мин), среднегасящуюся ($v_g = 8...25$ мин) и медленногасящуюся ($v_g > 25$ мин).

Твердеет воздушная известь чрезвычайно медленно и дает небольшую прочность — 0,2...1 МПа. На воздухе известковый раствор отвердевает в результате двух процессов: высыхания раствора, сближения и срастания кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$; карбонизации под влиянием углекислоты воздуха, приводящей к переходу $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в кристаллы CaCO_3 , которые упрочняют раствор. При карбонизации выделяется вода, поэтому известковую штукатурку приходится долго просушивать.

Традиционно воздушная известь служит вяжущим в растворах для каменной кладки и штукатурных работ. Однако вследствие неводостойкости воздушной извести допускается применять растворы только в тех частях сооружений, которые постоянно находятся в воздушно-сухих условиях. Чаще используют известь как пластификатор в смешанных растворах: цементно-известковых, известково-гипсовых. Большая часть воздушной извести в смеси с кварцевым песком предназначена для изготовления автоклавных силикатных материалов — силикатного (белого) кирпича, а также плотного и ячеистого силикатного бетона. Кроме того, смешивая воздушную известь с активными минеральными добавками, получают недорогие местные вяжущие вещества — известково-шлаковые, известково-золяные, известково-пуццолановые.

Известь представляет собой щелочь и может сильно раздражать кожу и слизистые оболочки. В целях безопасности при работе с ней применяют защитную одежду.

Гидравлическую известь получают умеренным обжигом (т.е. не до спекания) мергелистых известняков, содержащих 6...20% глины. В процессе обжига образуются силикаты, алюминаты и ферриты кальция, придающие извести гидравлические свойства. Поскольку в продукте содержится значительная часть CaO и MgO , способных только к воздушному твердению, гидравлическая известь сочетает в себе свойства как воздушного, так и гидравлического вяжущего. Поэтому изделия из гидравлической извести должны некоторое время (1...2 недели) твердеть на воздухе. Лишь после этого возможно их дальнейшее твердение в воде.

Прочность гидравлической извести после комбинированного твердения (7 сут на воздухе и 21 сут в воде) составляет 2...5 МПа. Это выше, чем у воздушной извести, но все же гидравлическая известь значительно уступает по прочности современным цементам. Основное назначение ее — изготовление строительных растворов низких марок.

Гипсовые вяжущие вещества представляют собой порошкообразные продукты, состоящие в основном из полуводного сульфата кальция. Их получают главным образом путем тепловой обработки при невысоких температурах (110...180 °С) природного гипсового камня, состоящего из минерала гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Производство гипсовых вяжущих связано с размолотом исходной горной породы и последующей температурной обработкой ее в варочных котлах. Из двуводного сульфата кальция вода частично удаляется и получается полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, обладающий вяжущими свойствами. Вода удаляется в виде пара. Поэтому процесс обжига называют варкой гипса.

Твердение гипсовых вяжущих обусловлено быстропотекающей реакцией гидратации:



Эта реакция сопровождается выделением теплоты. По сравнению с цементами схватывание и твердение гипсовых вяжущих происходит очень быстро. По срокам схватывания их делят на три группы: быстроотвердеющие (начало схватывания не ранее 2 мин, конец — не позднее 15 мин); нормальноотвердеющие (сроки схватывания 6...30 мин); медленноотвердеющие (начало схватывания не ранее 20 мин, конец схватывания не нормируется).

Гипсовые вяжущие набирают марочную прочность уже через 2 ч твердения; к этому сроку и оценивают их марку. Марку гипсовых вяжущих определяют испытанием на изгиб и сжатие образцов-балочек 4×4×16 см, изготовленных из теста нормальной густоты. Выпускают гипсовые вяжущие марок от Г-2 до Г-25 (цифра обозначает предел прочности образцов при сжатии, выраженный в МПа).

Из вяжущих марок Г-2...Г-7 изготавливают гипсовые строительные изделия — перегородочные панели, блоки, гипсокартонные листы, а также декоративные детали. Гипсовые изделия нельзя применять во влажных условиях. Гипсовые вяжущие более высоких марок используют для штукатурных работ и специальных целей. Часто гипсовыми вяжущими заделывают швы, трещины. При этом учитывают свойство гипса несколько расширяться при твердении.

Если необходимо замедлить схватывание гипсового вяжущего, то его затворяют водой, в которой содержатся замедлители схватывания — животные клеи (костный, столярный, мездровый), ЛСТ, известково-клеевые составы, бура, борная кислота.

Жидкое (растворимое) стекло представляет собой коллоидный раствор силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ или силиката калия $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$, содержащий 50...70% воды. Стекло варят из кварцевого песка и соды. Застывший расплав в виде крупных кусков (силикат-глыбу) обрабатывают горячей водой при давлении 0,6...0,7 МПа, в результате чего стекло растворяется.

Натриевое стекло, более дешевое, употребляют для изготовления кислотоупорного и жаростойкого бетонов, а также для уплотнения (силикатизации) слабых грунтов. Калиевое стекло используют в основном в силикатных красках. Для ускорения твердения жидкого стекла добавляют кремнефтористый натрий.

Жидкое стекло применяют также для затворения кислотоупорного цемента. Этот цемент представляет собой порошкообразный продукт, состоящий из смеси кислотостойкого наполнителя (кварца, андезита, бештаунита) и кремнефтористого натрия. Кислотоупорный цемент употребляют для изготовления специальных конструкций на предприятиях химической промышленности, при устройстве очистных сооружений.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие гидравлических вяжущих веществ от воздушных? Приведите примеры вяжущих обеих групп. 2. Расскажите о сырьевых материалах и основных приемах изготовления портландцемента. 3. Какие минералы преобладают в структуре цементного клинкера? 4. С какой целью добавляют гипс при помоле цементного клинкера? 5. В чем сущность процесса твердения минеральных вяжущих веществ? 6. Каково практическое значение сроков схватывания цементного теста? Можно ли укладывать бетонные смеси или раствор после начала схватывания? 7. Как влияет температура окружающей среды на сроки схватывания цемента? 8. Что такое ложное схватывание? Какие меры применяют перед использованием цемента, обладающего ложным схватыванием? 9. Что такое марка цемента, как ее определяют? Можно ли на данном цементе достигнуть прочности, большей его марки? 10. Перечислите факторы внешней среды, влияющие на прочность твердеющего цемента. Почему прочность цемента может со временем увеличиваться? 11. Почему нельзя изготовить цементный камень, раствор или бетон, не содержащие пор? Какова физическая причина формирования пористости в этих матери-

алах? 12. Укажите важнейшие разновидности портландцемента. 13. Что происходит при длительном хранении БТЦ? Какие качества утрачивает этот цемент? 14. Назовите, в каких случаях целесообразно использовать БТЦ и когда его применение не допускается. 15. Расскажите о цементах с органическими добавками. В чем преимущество этих цементов? 16. Как отличить гидрофобный портландцемент от обычного? 17. Перечислите активные минеральные добавки к цементам. В чем заключается их активность? 18. Для чего используют минеральные добавки-наполнители? 19. Охарактеризуйте пуццолановый портландцемент и укажите область его применения. 20. Расскажите о составе шлакопортландцемента, перечислите его свойства и область применения. 21. Почему шлаки для изготовления шлакопортландцемента должны быть гранулированными? 22. Назовите основные технические характеристики цемента для строительных растворов. 23. Перечислите рациональные области применения воздушной извести. 24. Укажите особенности строительного гипса, отличающие его от других минеральных вяжущих. 25. Каковы основные принципы изготовления известковых вяжущих веществ. Что такое негашеная и гидратная воздушная известь? 26. Для каких целей применяют в строительстве жидкое стекло?

ГЛАВА III

ВОДА ДЛЯ ЗАТВОРЕНИЯ. ДОБАВКИ К БЕТОНУ

§ 10. ВОДА ДЛЯ ЗАТВОРЕНИЯ БЕТОНА

В технологии бетонных работ воду используют для приготовления бетонных смесей и раствора, поливки бетона в процессе твердения, промывки заполнителей.

Во всех случаях допускается к применению не любая вода, а лишь отвечающая техническим условиям (ГОСТ 23732-79). Качество воды оценивают по содержанию вредных примесей, которые могут препятствовать нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества либо вызывают появление в структуре бетона новообразованной, снижающих прочность и долговечность.

То обстоятельство, что используемая для затворения вода в некоторых случаях может отрицательно повлиять на качество строительного раствора и бетона, было давно подмечено русскими строителями. Так, в одном из первых нормативных документов по строительству — "Замечаниях, как узнавать качество и доброту главных строительных материалов", выпущенных в 1812 г., указано, что вода для затворения "должна быть пресная; речная или ключевая лучше колодезной; стоячая же, гнилая, болотистая или морская вовсе не годятся".

Технические требования к воде для затворения и поливки бетона следующие. Водородный показатель воды pH должен находиться в пределах от 4 до 12,5. Нейтральная среда характеризуется значением pH = 7. При pH < 7 среда кислая, при pH > 7 — щелочная. Таким образом, для

затворения может допускаться вода, дающая слабокислую либо слабощелочную реакцию.

Вредными примесями в воде считаются органические вещества, растворимые соли, в особенности содержащие ионы SO_4^{2-} и Cl^- , а также взвешенные частицы глины, пыли, песка, почвы.

Органические вещества, в особенности содержащие сахар и фенолы, замедляют нормальное протекание процесса гидратации цемента и тем самым снижают прочность бетона. При большом содержании сахара схватывание бетонной смеси может вообще отодвинуться на неопределенное время. Поэтому в воде затворения количество сахаров или фенолов должно быть не более 10 мг/л каждого.

Недопустимы в воде примеси нефтепродуктов, масел, жиров. Эти вещества могут осаждаться на поверхности цементных частиц, замедляя их гидратацию. Если же они адсорбируются на зернах заполнителей, то препятствуют образованию прочного контакта с цементным камнем и тем самым снижают прочность бетона. Чтобы довести прочность бетона до проектной, в этом случае потребуется увеличить расход цемента, что вызовет необоснованное удорожание бетона. Проще и дешевле употреблять чистую воду, на поверхности которой нет пленки масел, нефтепродуктов или жиров.

В ряде случаев к поверхности бетонных конструкций предъявляют повышенные требования по чистоте и однородности цвета. Это касается конструкций, формирующих фасад сооружения. Для их изготовления и поливки бетона употребляют воду, не содержащую окрашивающих примесей.

Особую опасность представляет присутствие в воде растворимых солей, сульфат-ионов и ионов хлора. Они могут вызвать неконтролируемое изменение сроков схватывания и скорости твердения бетона. Но самое главное — возникает опасность коррозии цементного камня и стальной арматуры в железобетоне. При большом количестве сульфат-ионов в бетоне начинается сульфатная коррозия, которая разрушает цементный камень и конструкцию в целом (см. § 5). Хлор-ионы вызывают коррозию не только в цементном камне, но и в стальной арматуре.

Растворимые в воде соли (при большом их содержании) после затвердевания бетона кристаллизуются в порах цементного камня и образуют на поверхности изделий солевые налеты — так называемые высолы, портящие внешний вид сооружений. По этим причинам содержание солей в воде для затворения и поливки бетона, а также используемой для промывки заполнителей ограничено.

Таким образом, для затворения бетонной смеси и поливки твердеющего бетона можно без предварительной проверки применять питьевую воду, а также речную, озерную или воду из искусственных водоемов, не загрязненную сточными выбросами, солями и маслами.

Морская вода содержит соли, сульфат-ионы и хлор-ионы в большом количестве. Так, соленость воды в Балтийском море составляет в среднем 0,72 %, Каспийском — 1...1,4, Черном — 1,8...2,2, Белом — 1,9...3,3, в

океанах и открытых морях — 3,3...3,74 %. Поэтому морскую воду при содержании солей не более 3,4 % можно употреблять для затворения бетона и поливки массивных неармированных конструкций лишь в крайних случаях, когда на их поверхности допускается появление высолов.

Болотные и сточные (бытовые и промышленные) воды не разрешается применять без их очистки. Использовать сточные воды можно только с разрешения санитарно-эпидемиологической станции.

Качество воды контролируют в строительной лаборатории. В тех случаях, когда возникает сомнение в пригодности воды, изготавливают на ней образцы бетона или раствора. Если прочность бетона оказывается ниже прочности контрольного бетона, изготовленного на питьевой воде, проверяемую воду можно считать пригодной.

§ 11. ДОБАВКИ К БЕТОНУ И СТРОИТЕЛЬНОМУ РАСТВОРУ

С развитием технологии бетона все большее распространение получают различного рода добавки, которые улучшают свойства бетонной смеси и повышают качество затвердевших бетонов и строительных растворов. В зависимости от функционального назначения и достигаемого эффекта различают следующие добавки: регулирующие реологические свойства бетонных смесей, регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетонов, регулирующие пористость бетона, придающие бетону специальные свойства, сокращающие расход цемента, добавки полифункционального действия.

Добавки для регулирования реологических свойств бетонных смесей широко применяют при изготовлении бетона и строительного раствора. Важнейшее свойство этих смесей — удобоукладываемость. Удобоукладываемые смеси способны равномерно заполнять заданный объем бетонизируемой конструкции под действием силы тяжести либо специально прикладываемых внешних сил — вибрации, штыкования, трамбования. При транспортировании бетонной смеси по бетоноводам, укладке в опалубку она может расслоиться. Чтобы этого не произошло, необходимо обеспечить заданные характеристики пластичности и вязкости смесей. Изучением пластично-вязких и упругих свойств бетонных смесей занимается наука — реология. Эта наука изучает закономерности течения и деформаций вещества, и в частности бетонных смесей и раствора. Реологические свойства бетонных смесей (пластическая вязкость, структурная прочность, предельное напряжение сдвига) могут быть изменены путем введения добавок.

В группе таких веществ выделяют пластифицирующие, стабилизирующие и водоудерживающие добавки.

Пластифицирующими называют добавки, увеличивающие подвижность (или уменьшающие жесткость) бетонных смесей без снижения прочности бетона. Подвижность бетонных смесей характеризуется осадкой стандартного конуса, выражаемой в сантиметрах (см. § 15). Для определения пластифицирующего эффекта добавки изготавливают

бетонную смесь с осадкой конуса 2...4 см. При введении добавки осадка конуса возрастает. В зависимости от полученного результата добавку относят к одной из следующих четырех групп:

I группа — суперпластификаторы, увеличивающие осадку конуса с 2...4 до 20 см и более;

II группа — сильнопластифицирующие, повышают осадку конуса до 14...19 см;

III группа — среднепластифицирующие, осадка конуса 9...13 см;

IV группа — слабопластифицирующие, осадка конуса менее 8 см.

Пластифицирующие добавки представляют собой поверхностно-активные вещества. По характеру действия различают гидрофильно-пластифицирующие и гидрофобно-пластифицирующие добавки. Из числа *гидрофильно-пластифицирующих* наиболее часто применяют добавку ЛСТ (прежнее название СДБ). По химическому составу — это кальциевая соль лигносульфоновой кислоты с примесью минеральных веществ. Поставляется обычно в жидком виде с содержанием сухого вещества около 50 %, иногда — в твердом виде при 80 %-ном содержании сухого вещества. ЛСТ легко растворяется в воде. Для пластификации бетонной смеси и раствора ее вводят в небольшом количестве — 0,1...0,5 % от массы цемента. В расчете на 1 м³ бетона расход добавки составляет всего 0,5...1 кг.

Особенно эффективно использовать ее в жирных бетонных смесях, т.е. смесях с большим содержанием вяжущего. При введении ЛСТ и других пластифицирующих добавок можно повысить подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси и раствора при сохранении количества цемента и заданной прочности бетона; уменьшить расход воды, а количество цемента оставить прежним (при этих условиях прочность бетона увеличивается); уменьшить расход воды и цемента при сохранении прежней удобоукладываемости (прочность бетона останется неизменной, но расход цемента сократится на 8...10 %).

К *гидрофобно-пластифицирующим* добавкам относят мылонафт (натриевую соль нафтеновых кислот), асидол-мылонафт, гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11. Эти добавки рекомендуются применять в тощих бетонах и растворах, отличающихся мыльным расходом цемента. После укладки и затвердевания бетона такие добавки, адсорбируясь в порах, придают бетону водоотталкивающие свойства (гидрофобизируют бетон). В результате сильно уменьшается водопоглощение бетона, одновременно возрастают морозостойкость и сопротивляемость бетона коррозии. Применение таких добавок — эффективный способ повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

В последние годы отечественная промышленность начала выпускать добавки нового типа — *суперпластификаторы*. В большинстве это синтетические полимерные материалы. В бетонную смесь вводят 0,2...1,2 % такой добавки, считая от массы цемента. В отличие от традиционных веществ суперпластификаторы обладают гораздо более сильным разжижающим действием и не замедляют твердения бетона.

На базе производных меламиновой смолы выпускают суперпластификатор 10-03. Суперпластификаторы 30-03 и НСП — производные нафталинсульфокислоты. В ряде добавок используют вторичные продукты химического синтеза: ОП-7, 20-03, СПД. К числу суперпластифицирующих относят и модифицированные технические лигносульфонаты (добавка ЛСТМ-2).

Резко увеличивая подвижность бетонных смесей, суперпластификаторы облегчают их транспортирование и укладку. Если необходимо сохранить подвижность, сокращают расход воды в бетонной смеси, а это позволяет получать бетон с высокой прочностью — до 80 МПа. Весьма эффективны суперпластификаторы при перекачивании смесей бетононасосами.

В процессе приготовления строительных растворов применяют кроме названных органических веществ также *неорганические пластификаторы* — известь (см. § 9) и глину. Строительная воздушная известь при гашении в известковом тесте образует чрезвычайно малые частицы, которые обволакиваются водой. Водные пленки облегчают взаимное скольжение частиц, играют роль смазочного материала на их поверхности. Именно этим и обусловлено пластифицирующее действие воздушной извести.

Глина при тщательном перемешивании с водой распадается на тончайшие частицы размером менее 5 мкм и также образует пластичное тесто.

В отличие от органических пластификаторов, используемых в чрезвычайно малых дозах, добавки извести или глины вводят в больших количествах, сравнимых с расходом вяжущего вещества.

Рассмотренные поверхностно-активные добавки можно использовать также в качестве стабилизирующих (препятствующих расслоению) и водоудерживающих (уменьшающих водоотделение бетонных смесей и раствора). При транспортировании и укладке может возникнуть расслоение смесей. Если подбором состава не удается достичь заданной стабильности и водоудерживающей способности смесей, то вводят в их состав органические пластификаторы, а при необходимости и тонкозернистые минеральные добавки: пылевидную золу ТЭС, каменную муку. Для сокращения водоотделения литых смесей вводят бентонитовую глину, обладающую свойством удерживать в своей структуре большое количество воды.

Добавки, регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетонов, представляют собой следующие вещества: ускоряющие либо замедляющие схватывание, ускоряющие твердение, противоморозные.

В практике бетонных работ часто возникает необходимость в ускорении или замедлении схватывания и твердения бетона. Например, при возведении сооружений из монолитного бетона и железобетона для интенсификации темпов бетонирования надо, чтобы бетон быстрее набирал распалубочную прочность. Высокая скорость твердения бетона необходима и при аварийно-восстановительных работах. В то же время нередки случаи, когда схватывание бетонной смеси или раствора наме-

ренно замедляют, например при перевозке в автосамосвалах, перекачивании бетононасосами, укладке бетона в жаркую погоду.

Действие ускорителей объясняется тем, что они повышают растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющегося при гидратации цемента. Это приводит к дальнейшей гидратации клинкерных минералов и увеличивает, в конечном итоге, количество новообразований в цементном камне. В результате прочность бетона, содержащего добавку-ускоритель, в первые 3...7 сут твердения значительно больше, чем прочность бетона без добавки. Теоретически схватывание и твердение цементных материалов можно ускорять всеми солями щелочных, щелочно-земельных и многовалентных металлов.

На практике чаще используют следующие ускорители твердения бетона: хлорид кальция (ХК), сульфат натрия (СН), нитраты кальция (НК) и натрия (НН), а также многокомпонентные добавки: нитрит-нитрат кальция (ННК), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК).

Одна и та же добавка при разной дозировке может оказывать и разное действие, т.е. ускорять либо замедлять твердение бетона. Поэтому концентрацию добавок в бетонной смеси, установленную в строительной лаборатории опытным путем, обязательно выдерживают при изготовлении смеси. Количество добавок составляет 1...3 % от массы цемента. Добавка большого количества ХК вызывает коррозию арматуры. Поэтому при изготовлении железобетонных конструкций количество хлорида кальция, вводимого в бетонную смесь, ограничивают 2%.

Из замедлителей схватывания лучше всего применять добавки, уменьшающие одновременно водопотребность и расход цемента, а также пластифицирующие бетонные смеси и раствор. В этом отношении хорошие результаты дают органические вещества (ЛСТ) и кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11. Кроме того, употребляют добавку двуводного гипса, слабый раствор серной кислоты. Концентрация добавок колеблется от 0,2 до 2 % и устанавливается в лаборатории.

Противоморозные добавки вводят для того, чтобы обеспечить твердение бетона зимой. При отрицательной температуре вода замерзает и гидратация цемента прекращается. Образовавшийся лед разрушает еще слабую структуру цементного камня, что вызывает большую потерю прочности бетона.

Чтобы обеспечить твердение бетона на морозе, вводят в бетонную смесь вещества, понижающие температуру замерзания воды. Вода остается в жидком состоянии даже при температуре $-15...-20^\circ\text{C}$, и процесс гидратации цемента продолжается.

В качестве противоморозных добавок применяют следующие соли: хлорид натрия в сочетании с хлоридом кальция, нитрит натрия, комплексное соединение нитрата кальция с мочевиной.

Добавки, регулирующие пористость бетона, представляют собой воздухововлекающие, газообразующие, пенообразующие вещества.

Воздухововлекающие добавки — это поверхностно-активные вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение жидкости (воды). При

перемешивании с такими добавками в бетонную смесь вовлекается значительное количество мельчайших воздушных пузырьков, которые как бы увеличивают объем цементного теста. Бетонная смесь, содержащая воздухововлекающую добавку, обладает хорошей удобоукладываемостью и легко перекачивается бетононасосами.

Среди этих добавок чаще используют древесную омыленную смолу (добавка СДО) и нейтрализованную воздухововлекающую смолу (СНВ), а также талловый нековый клей (КП).

Газообразующие и пенообразующие добавки применяют для изготовления ячеистых бетонов (газобетона и пенобетона). Под действием этих добавок формируется высокопористая структура с большим количеством сферических пор-ячеек. Это газообразователи (алюминиевая пудра, пергидроль) или пенообразователи (сульфонол, гидролизованная кровь).

Добавки, придающие бетону специальные свойства, подразделяют на следующие разновидности.

Добавки, уменьшающие смачивание бетона, — это гидрофобизирующие добавки (мылонафт, кремнийорганические жидкости), уже рассмотренные выше.

Добавки, изменяющие электропроводность, применяют при производстве бетона электротехнических конструкций. К лучшим относятся добавки технического углерода.

Кроме перечисленных применяют и другие специальные добавки: повышающие защиту от радиации (в конструкциях ядерных энергетических установок); увеличивающие жаростойкость бетона; придающие бетону бактерицидные свойства; повышающие его стойкость против коррозии.

Добавки, сокращающие расход цемента, — это минеральные порошки, которые вводят в бетонные смеси и раствор для экономии материала. Чаще всего это побочные продукты промышленности: пылевидная зола теплоэлектростанций, доменные и топливные шлаки в тонкомолотом виде.

Добавки полифункционального действия (комплексные) позволяют одновременно управлять несколькими свойствами бетонной смеси и затвердевшего бетона, например повышать пластичность смеси и увеличивать прочность бетона. Это добавки составного типа, включающие в себя несколько компонентов, каждый из которых регулирует одно свойство. Например, комплексная добавка ЛСТ + СНВ пластифицирует бетонную смесь и повышает морозостойкость бетона, добавка ЛСТ + ХК также пластифицирует смесь и ускоряет твердение бетона. Одновременно эта добавка сокращает расход цемента.

Многие из применяемых добавок при неумелом обращении могут оказывать вредное воздействие на работающих. В особенности это относится к ускорителям твердения — хлористым солям. Хлорид кальция весьма опасен для кожи лица и рук. Хлорная известь и ее растворы могут выделять хлор. Они являются сильными окислителями. Попадая в дыхательные пути, хлор может вызвать тяжелое отравление.

Сильным раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки обладают известковое тесто, известковое молоко, кремнийорганические жидкости.

Поэтому к работам по приготовлению и применению химических растворов допускаются только те лица, которые прошли медицинское освидетельствование. Рабочим, не достигшим 18-летнего возраста, работать с химическими веществами не разрешается.

Всех работающих с хлорированными растворами необходимо снабжать спецодеждой и средствами индивидуальной защиты — очками, респиратором или противогазом, рукавицами. Хлорид кальция надо применять только в виде водного раствора (хлорной воды), который берут черпаками на длинных ручках.

Помещения, в которых готовят химические растворы, должны хорошо вентилироваться и иметь достаточный объем — не менее 40 м^3 на одного работающего при высоте потолка не менее 3,25 м.

Работать с химическими добавками следует только под непосредственным наблюдением технического персонала. При случайном попадании растворов на открытые участки кожи, а также в глаза работающих необходимо промыть поврежденные места большим количеством чистой воды.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к воде для затворения и поливки бетона?
2. Укажите типы добавок для улучшения свойств смесей и затвердевшего бетона.
3. В чем заключается эффективность пластифицирующих добавок? 4. Расскажите об ускорителях твердения и замедлителях схватывания бетона. С какой целью их применяют? 5. В каких количествах вводят органические и неорганические добавки? 6. Какие меры предосторожности надо соблюдать при работе с добавками?

ГЛАВА IV

ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

§ 12. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Заполнителями в бетоне называют рыхлую смесь минеральных зерен природного или искусственного происхождения, размеры которых находятся в установленном диапазоне. В бетоне эти зерна скрепляются вяжущим веществом, образуя прочное камневидное тело. Занимая до 80...85 % общего объема бетона, заполнители влияют на технологические свойства бетонной смеси и на качество затвердевшего бетона. Правильно подобранные заполнители позволяют получить экономичный бетон с минимальным расходом цемента.

По крупности различают мелкий заполнитель (песок), состоящий из частиц размером 0,16...5 мм, и крупный заполнитель (гравий или ще-

бень), размеры частиц в котором изменяются в пределах от 5 до 70 мм. В некоторых случаях, например при бетонировании массивных конструкций, применяют щебень или гравий с крупностью частиц до 150 мм.

По происхождению заполнители подразделяют на природные и искусственные. Природные заполнители получают путем добычи и переработки изверженных, осадочных или метаморфических горных пород: гравита, диабазы, диорита, известняка, вулканического туфа, гравия, кварцевого песка, кварцита, мрамора. К искусственным заполнителям относят попутные продукты промышленности (доменные и топливные шлаки, золу ТЭС), а также специально изготовляемые — керамзитовый гравий, щебень из вспученного перлита и многие другие.

К важнейшим показателям качества заполнителей относят зерновой состав, форму и характер поверхности зерен, содержание вредных примесей, плотность, прочность и морозостойкость.

Зерновой состав заполнителей решающим образом влияет на получение бетона заданной марки при минимальном расходе цемента. В бетонной смеси цементное тесто расходуется на обволакивание поверхности зерен и на заполнение промежутков (пустот) между ними. В идеальном случае наименьший расход цемента достигается в том случае, когда и удельная поверхность, и пустотность зерен заполнителя стремятся к минимуму. Удельная поверхность тем меньше, чем больше крупность заполнителя. Так, удельная поверхность смеси зерен крупностью 10...20 мм, взятая из расчета на 1 м^3 абсолютного объема заполнителя, составляет 400 м^2 , для зерен крупностью 2,5...5 мм она равна 1600 м^2 , а для пылевидных частиц размером 0,05...0,16 мм — 160000 м^2 .

В отличие от удельной поверхности объем пустот в заполнителе, представленном зернами (шарами) одного размера, теоретически не зависит от крупности зерен, а определяется типом их упаковки — кубической или гексагональной. Для сокращения пустотности заполнителя вводят в его состав зерна меньшего размера, которые заполняют промежутки между более крупными частицами. Однако это увеличивает удельную поверхность заполнителя и, следовательно, может привести к перерасходу вяжущего для обволакивания зерен. Поэтому соотношение между зернами разного размера в заполнителе должно быть оптимальным, при котором объем пустот и суммарная поверхность зерен требуют минимального расхода цемента для получения нерасплаиваемой бетонной смеси определенной удобоукладываемости, а бетона — заданной плотности и прочности.

Зерновой состав заполнителей определяют по результатам просеивания пробы через стандартный набор, включающий 10 сит с отверстиями (в мм): 70; 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16. Граница между мелким и крупным заполнителями проходит по зерну 5 мм. Если надо определить зерновой состав песка, берут сита с размерами отверстий 5...0,16 мм, для крупного заполнителя — 5...70 мм.

После просеивания пробы взвешивают частные остатки на каждом сите и вычисляют их относительное содержание a_i в процентах. На каж-

дом сита после просеивания остаются частицы размером, большим размера отверстий данного сита, но меньшим размера отверстий вышележащего, более крупного сита. Совокупность зерен, размер которых находится в этих пределах, называют *фракцией заполнителя*. Заполнители поставляют полифракционными, т.е. состоящими из зерен разных фракций, и монофракционными. Например, щебень с размерами зерен 5...40 мм является полифракционным и состоит из зерен фракций 5...10, 10...20 и 20...40 мм.

Зная частные остатки a_i , определяют полные остатки на ситах A_i как сумму частных остатков на данном сите и на ситах с большим размером отверстий. Результаты просеивания (полные остатки) сравнивают со стандартными требованиями, представленными в графической или табличной форме. Кроме того, эти же данные используют для оценки крупности песка по модулю крупности

$$M_k = \Sigma A_i / 100, \quad (20)$$

где ΣA_i — сумма полных остатков на ситах с отверстиями 2,5...0,16 мм.

Чем больше M_k , тем крупнее песок, т.е. больше содержание в нем зерен крупных фракций.

Форма зерен заполнителя влияет на удобоукладываемость бетонных смесей и раствора. Предпочтительны в этом отношении зерна округлой или кубовидной формы. Пластинчатые, удлиненные, так называемые лещадные, зерна заполнителя укладываются в бетоне в строго ориентированном положении, как правило, горизонтальном. Это делает структуру бетона неоднородной, а его свойства — неодинаковыми в разных направлениях. Поэтому содержание зерен лещадной формы ограничивается стандартами.

Характер поверхности заполнителей влияет на свойства бетонной смеси и прочность бетона. Бетонная смесь, изготовленная на заполнителях с *гладкой* поверхностью — например, гравия, обладает хорошей удобоукладываемостью. Смеси на заполнителях с *шероховатой* поверхностью, например щебне, укладываются хуже, но бетон приобретает большую прочность, чем бетон на гравии. Это объясняется большей площадью поверхности сцепления шероховатого заполнителя с цементным камнем. Некоторые заполнители, в особенности из легких пористых материалов, обладают настолько большой шероховатостью, что затрудняют получение удобоукладываемых и удобоперекладываемых смесей.

Вредные смеси, содержащиеся в заполнителях, могут вступать во взаимодействие с цементом, в результате чего в бетоне образуются соединения, снижающие его прочность или вызывающие коррозию. К числу вредных примесей относят включения следующих пород и минералов:

- минералы-сульфаты — гипс, ангидрит;
- сульфиды — пирит, марказит, пирротин;
- аморфные разновидности кремнезема — халцедон, опал, кремнь;
- вулканические стекла;
- оксиды и гидроксиды железа — магнетит, гематит, гетит;

слюды и гидрослюды — мусковит, биотит, вермикулит;

галогенные соединения — хлориты, галит, сильвин;

другие вещества — сера, графит, уголь, фосфорит.

От плотности заполнителей зависит плотность бетона. Для производства тяжелого бетона используют заполнители, изготавливаемые из горных пород со средней плотностью 1,8...2,8 т/см³. Применение заполнителей, у которых $\rho_m > 2,8$ т/см³, приводит к необоснованному увеличению веса сооружений. Такие заполнители идут лишь на изготовление специального бетона для защиты от радиоактивных излучений. Заполнители, у которых $\rho_m < 1,8$ т/см³, отличаются заметной пористостью, тем большей, чем меньше их средняя плотность. Такие пористые заполнители употребляют для изготовления легких бетонов. Вследствие высокой пористости заполнителей такие бетоны обладают хорошими теплозащитными свойствами.

Прочность — важнейшая характеристика заполнителя. Ее оценивают по пределу прочности исходной горной породы в насыщенном водой состоянии. Марки породы по прочности находятся в пределах М20...М140. Марка означает минимальный предел прочности породы при сжатии, выраженный в МПа. Породы, у которых предел прочности меньше 20 МПа, относят к слабым разновидностям. Содержание слабых разновидностей в щебне ограничивается стандартами.

Прочность гравия характеризуют его маркой, определяемой по *дробимости* путем испытания пробы зерен на сжатие в стальном цилиндре. Чем слабее гравий, тем больше оказывается после такого испытания раздробленных зерен. Их отсеивают сквозь сито с размером отверстий 5 мм и определяют показатель дробимости, который равен отношению содержания этих зерен в общей массе пробы. Марки гравия по дробимости могут быть от Др8 до Др24. Марка Др8 означает, что после испытания раздробилось не более 8% всей массы гравия. Чем больше число в обозначении марки, тем слабее гравий.

Морозостойкость горной породы оценивают маркой, которая соответствует числу циклов замораживания—оттаивания, выдержанных щебнем из этой породы. Марки пород по морозостойкости установлены в пределах от F15 до F300.

К заполнителям для жаростойкого, химически стойкого, декоративного и других специальных бетонов предъявляют дополнительные требования.

§ 13. МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ

Мелкий заполнитель — песок — может быть природным или искусственным.

Природный песок — это рыхлая обломочная порода, образовавшаяся в результате естественного разрушения (выветривания) скальных горных пород, например гранита. По минеральному составу различают кварцевые пески, полевошпатные, карбонатные и некоторые другие. Кварце-

вые пески лучше по качеству. Их чаще применяют для изготовления бетонов и строительных растворов.

По условиям образования различают речные, морские и овражные (горные) пески. Зерна речных и морских песков имеют окатанную форму и гладкую поверхность, так как истираются при переносе водой. У овражных и горных песков зерна преимущественно угловатые. В таких песках содержится больше глинистых и органических примесей. В морских песках могут присутствовать обломки раковин, которые легко разрушаются и снижают прочность бетона.

Искусственный песок получают дроблением твердых горных пород либо некоторых попутных продуктов промышленности, например металлургических шлаков.

В зависимости от зернового состава (ГОСТ 8736—85) различают песок повышенной крупности, крупный, средний, мелкий и очень мелкий (табл. 12).

Таблица 12. Классификация песков по крупности

Группа песка	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе	M_k
Повышенной крупности	Свыше 65 до 75	Свыше 3,0 до 3,5
Крупный	" 45 " 65	" 2,5 " 3,0
Средний	" 30 " 50	" 2,0 " 2,5
Мелкий	" 10 " 30	" 1,5 " 2,0
Очень мелкий	До 10	" 1,0 " 1,5

Зерновой состав песка для изготовления бетона должен соответствовать требованиям стандарта (рис. 11).

Для бетона классов В25 и выше рекомендуется использовать крупный песок с модулем крупности более 2,5.

Пески с $M_k = 1,5...2$ допускается применять в бетонах класса до В15.

Если зерновой состав песка не соответствует требованиям стандарта, его фракционируют, т.е. рассеивают с помощью сит с размером отверстий 1,25 или 0,63 мм на две фракции. Полученные фракции затем смешивают в соотношении, которое устанавливает строительная лаборатория.

Применение мелких песков, обладающих большой удельной поверхностью зерен, приводит к перерасходу цемента в бетоне. Поэтому их целесообразно использовать в качестве мелкой фракции фракционированных песков. Мелкие пески употребляют для изготовления бетона только при надлежащем экономическом обосновании. При этом обязательно вводить в состав бетона или раствора пластифицирующие или воздухововлекающие добавки.



Рис. 11. Кривые зернового состава песка: 1 — допустимая нижняя граница крупности песка ($M_k = 1,5$), 2 — рекомендуемая нижняя граница крупности для бетонов класса В15 и выше ($M_k = 2$), 3 — рекомендуемая нижняя граница крупности для бетонов класса В25 и выше ($M_k = 2,5$), 4 — допустимая верхняя граница крупности песков ($M_k = 3,25$)

Если в природном песке недостает самой мелкой фракции, вводят тонкомолотые минеральные добавки — пылевидную золу ТЭС, каменную муку, но не более 20% от массы цемента. Большее содержание тонкомолотых добавок не рекомендуется, так как может вызвать расслоение бетонной смеси или раствора.

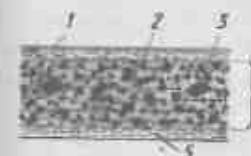


Рис. 12. Образование смазывающего слоя при движении бетонной смеси в трубопроводе: 1 — стенка трубопровода, 2 — цементно-песчаный раствор, 3 — крупный заполнитель, 4 — основной поток смеси, 5 — пристенный смазывающий слой

Во всех случаях содержание в песке глинистых, илстых и пылевидных частиц ограничивают. Глина и ил обволакивают зерна песка, препятствуя их сцеплению с цементным камнем. Тонкие пылевидные частицы обладают большой удельной поверхностью и, следовательно, им требуется больше цементного теста для обкладки. Поэтому в зависимости от назначения бетона содержание таких частиц допускается в пределах 1...3% по массе, в том числе комьев глины — не более 0,25%.

В песке для гидротехнического бетона сернистых и сернокислых соединений должно быть не более 1%, слюды в соответствии с условиями работы бетона — 1...3%.

Опасны и органические примеси в песке. Они могут присутствовать в виде остатков корневых растений, органических кислот. Эти вещества замедляют твердение цемента и снижают его потенциальную прочность. Наличие органических примесей проверяют колориметрической (цветовой) пробой, обрабатывая песок 3 %-ным раствором NaOH. Если раствор NaOH не окрашивается или окрашен светлее эталона (у эталона светло-желтый цвет), песок считают пригодным для изготовления бетона. При цвете раствора темнее эталона проводят специальные исследования такого песка.

§ 14. КРУПНЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ

Крупными заполнителями в бетоне служат гравий, щебень, а также щебень из гравия.

Гравий представляет собой осадочную горную породу в виде скопления зерен размерами 5...70 мм округлой, окатанной формы и с гладкой поверхностью. В гравий входит некоторое количество песка. При содержании песка 25...40% материал называют песчано-гравийной смесью.

Щебень получают дроблением массивных плотных горных пород на куски размерами 5...70 мм. Зерна щебня — угловатой формы и с более развитой, чем у гравия, шероховатой поверхностью. Благодаря этому сцепление с цементным камнем у щебня выше, чем у гравия. Для высокопрочного бетона предпочтительно применять щебень, для бетонов средней прочности (15...30 МПа) — дешевый местный гравий, а не привозной щебень.

Для характеристики зернового состава крупного заполнителя необходимо знать его наибольшую и наименьшую крупность. *Наибольшая крупность заполнителя D* соответствует размеру отверстий стандартного сита, на котором полный остаток еще не превышает 10% по массе. *Наименьшая крупность d* определяется размером отверстий первого из сит, полный остаток на котором превышает 95%, т.е. через него проходит не более 5% просеиваемой пробы. Наименьшая крупность обычно равна 5 мм.

Наибольшая крупность заполнителя должна соответствовать размерам бетонизируемой конструкции и расстоянию между стержнями арматуры. Чтобы заполнитель при бетонировании равномерно, без заклиниваний, распределялся в объеме конструкции, его наибольшую крупность назначают с учетом вида и размеров конструкции и густоты армирования.

При изготовлении бетонных плит наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть не более половины толщины плиты; для бетонной смеси, укладываемой в скользящую опалубку, — не превышать $1/6$ наименьшего размера поперечного сечения конструкции. В железобетонных конструкциях применяют заполнители с наибольшей крупностью не более $3/4$ наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры.

При транспортировании смесей по бетоноводам наибольшую крупность заполнителей устанавливают в зависимости от внутреннего диа-

метра бетоновода. Для гравия она должна быть не более 0,4 диаметра бетоновода, для щебня — не более $1/3$. Крупность заполнителей в бетонных смесях, подаваемых по хоботам и виброхоботам, принимают равной не более $1/3$ их диаметра. Кроме того, содержание зерен плоской (лещадной) и игольчатой формы ограничивают 5% по массе, в противном случае ухудшается удобоперекачиваемость смесей, а детали бетононасоса быстро выхоят из строя. Лучше использовать в составе перекачиваемых бетонных смесей гравий или щебень неостроконечной (округлой либо кубовидной) формы.

Щебень или гравий применяют, как правило, фракционированным. Обычно используют 2...3 фракции. Зерновой состав каждой фракции заполнителя или смеси фракций назначают таким, чтобы обеспечить минимальный расход цемента в бетоне. Стандартные требования к зерновому составу крупного заполнителя представлены на рис. 13. Щебень или гравий признают удовлетворительными по зерновому составу, если кривая их просеивания попадает в область, ограниченную ломаными линиями.

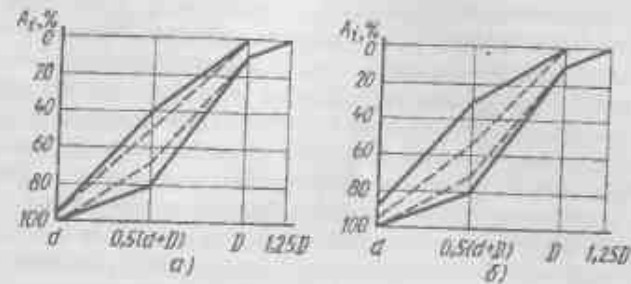


Рис. 13. Кривые зернового состава щебня (а) и гравия (б): сплошные линии — для отдельной фракции, пунктирные — для смеси фракций

Бетонные смеси, предназначенные для перекачивания по трубопроводам, характеризуются особым составом заполнителей (рис. 14). В этом составе повышено содержание мелких зерен: доля песка составляет ориентировочно 32...50% при использовании гравия и 40...60% — при

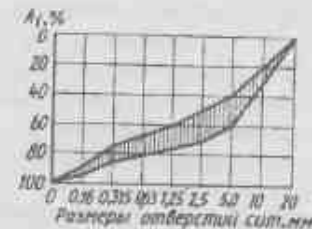


Рис. 14. Рекомендуемый зерновой состав смеси песка и щебня для перекачивания бетонной смеси (наибольшая крупность щебня 20 мм)

использовании щебня. Смеси сухих заполнителей, взятых в таком соотношении, обладают минимальной пустотностью.

Содержание вредных примесей, а также глинистых, илстых и пылевидных частиц в крупных заполнителях ограничивают так же, как и в песке.

Прочность заполнителей влияет на прочность бетона. Требования по прочности устанавливают только для крупного заполнителя, поскольку обычно применяемые в качестве мелкого заполнителя кварцевые пески заведомо прочнее бетона: предел прочности при сжатии кварца свыше 1000 МПа, а максимальная прочность бетона по ГОСТ 26633-85 составляет 80 МПа.

Прочность крупного заполнителя нормируют с учетом прочности бетона. Так, марка щебня из естественного камня должна превышать прочность бетона не менее чем в 1,5...2 раза. Во всех случаях щебень из изверженных горных пород должен быть марки не ниже 80 МПа, из метаморфических пород — не ниже 60, из осадочных пород — не ниже 30 МПа. Содержание в щебне и гравии зерен слабых и выветренных пород — не более 10% по массе.

Морозостойкость щебня и гравия должна обеспечивать получение проектной марки бетона по морозостойкости. Определяют ее путем циклического замораживания и оттаивания пробы заполнителя в водонасыщенном состоянии. Для предварительной оценки морозостойкости разрешается ускорить испытание путем насыщения пробы в растворе сернистого натрия и последующего высушивания ее. По морозостойкости крупные заполнители подразделяют на семь марок: 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300. Марка заполнителя по морозостойкости характеризует число циклов замораживания — оттаивания, при котором потеря массы пробы не превышает 5% (исключение составляют марки F15 и F25, для которых установлен предел 10%).

Для изготовления легких бетонов применяют пористые заполнители. Они бывают природные и искусственные. Природные заполнители получают путем дробления пористых горных пород — вулканического туфа, пемзы, известкового туфа, известняка-ракушечника и некоторых других. Они относятся к местным материалам и используются для строительства в районах, незначительно удаленных от месторождения. Более распространены искусственные пористые заполнители, которые подразделяют на специально изготавливаемые и заполнители из отходов промышленности.

К специально изготавливаемым пористым заполнителям относят керамзит, аглопорит, вспученный перлит, вспученный вермикулит, шлаковую пемзу, зольный гравий. Из отходов промышленности используют топливные шлаки и золы.

Керамзит — продукт обжига вспучивающихся глин. Его получают в виде гранул округлой формы размером 5...40 мм (керамзитовый гравий). При нагреве до температуры 1100...1200 °С в легкоплавкой глине начинаются процессы газовыделения. В этом же температурном ин-

тервале глина размягчается. Образующиеся газы вспучивают массу.

Получаемые в результате обжига гранулы керамзита напоминают в изломе структуру застывшей пены. Поры большей частью замкнутые, размером не более 1 мм. Этот легкий и прочный заполнитель с насыпной плотностью не более 600 кг/м³ — основной материал для изготовления легкобетонных конструкций.

Керамзитовый песок получают дроблением некондиционных зерен керамзитового гравия до крупности 0,16...5 мм либо путем обжига сырья во взвешенном состоянии.

Аглопорит выпускают в виде пористого щебня, гравия или песка и получают при обжиге на спекательных (агломерационных) решетках глиносодержащего сырья, топливных зол или шлаков с добавкой 8...10% топлива (каменного угля). Высокая температура, развивающаяся при сгорании угля, приводит к спеканию шихты, а образующиеся газы несколько вспучивают массу, что в итоге приводит к получению пористого материала.

Вспученные перлит и вермикулит получают высокотемпературной обработкой сырья, содержащего небольшое количество химически связанной воды. Для изготовления вспученного перлита сырьем служат вулканические стеклообразные породы (перлит, обсидиан), а для вспученного вермикулита — гидрослюда. При температуре около 1000 °С обжигаемая порода размягчается, а образующийся водяной пар вспучивает частицы, увеличивая их в 5...20 раз. Получаются весьма легкие пористые заполнители — щебень и песок, используемые в основном для производства теплоизоляционного бетона.

Шлаковую пемзу изготавливают путем поризации расплава металлургического шлака при быстром охлаждении его водой. Куски шлаковой пемзы дробят и разделяют на фракции. Это один из самых дешевых пористых заполнителей, но не самый лучший: шлаковая пемза слишком тяжела.

Зольный гравий получают обжигом окатанных гранул, состоящих из пылевидной золы ТЭС с небольшой добавкой топлива. Можно также изготовлять безобжиговый зольный гравий, в котором отдельные частицы золы скреплены в единое целое вяжущим веществом, например портландцементом.

Топливные шлаки образуются в топках при спекании и частичном вспучивании неорганических примесей, содержащихся в угле. Этот материал характеризуется значительной неоднородностью свойств, что ограничивает его применение в качестве пористого заполнителя.

Пылевидная зола теплоэлектростанций (зола-унос) образуется при сжигании размолотого каменного угля. Ее используют как мелкий заполнитель в легких бетонах при условии, что содержание частиц несгоревшего топлива не превышает установленных пределов (как правило, не более 5% по массе).

Основная характеристика пористого заполнителя — насыпная плотность в сухом состоянии. Для крупного пористого заполнителя установ-

лены марки по насыпной плотности от 250 до 1200 кг/м³, а для пористого песка — от 100 до 1400 кг/м³. Крупные пористые заполнители поставляют отдельно по фракциям 5...10, 10...20 и 20...40 мм.

Прочность определяют путем раздавливания пробы крупного пористого заполнителя в цилиндре. Значения прочности для каждого вида заполнителей различны. У керамзитового гравия, например, она составляет 0,6...2,5 МПа.

Морозостойкость пористых заполнителей должна соответствовать марке не ниже F15.

Благодаря развитой системе пор заполнители способны поглощать значительное количество воды затворения, причем скорость водопоглощения особенно велика в первые 15...20 мин, т.е. в момент приготовления и укладки легкого бетонной смеси (рис. 15). Интенсивное впитывание воды в первоначальные сроки связано с наличием крупных пор. В дальнейшем постепенно насыщаются тонкие поры и капилляры.

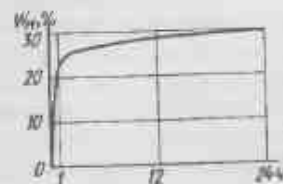


Рис. 15. Кинетика поглощения воды керамзитовым гравием. (W_M — водопоглощение по массе)

Быстрый отсос воды зернами заполнителя и развитая шероховатая поверхность его делают легкогобетонные смеси недостаточно удобоукладываемыми. Поэтому при изготовлении легких бетонов особенно эффективно применять гидрофобно-пластифицирующие добавки.

Во время перекачивания бетононасосными установками смесь быстро теряет подвижность в бетоноводе из-за того, что пористый заполнитель усиленно поглощает воду затворения под воздействием развиваемого насосом давления. Кроме того, легкогобетонная смесь обладает повышенной сжимаемостью за счет поглощения воды заполнителем и увеличенного содержания воздуха.

Контрольные вопросы

1. Какую роль играют заполнители в бетоне? Чем различаются мелкий и крупный заполнители? 2. Каким должен быть зерновой состав заполнителя, как его оценить? 3. Перечислите вредные примеси в заполнителях. Как влияют эти примеси на свойства бетона? 4. Опишите различия между гравием и щебнем. Сопоставьте свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона, изготовленных на этих заполнителях. 5. Как оценивают прочность заполнителей, влияют ли они на прочность бетона? 6. Расскажите о классификации песка по происхождению, по крупности и другим признакам. 7. Проанализируйте влияние крупности песка на расход цемента в бетоне. В каких случаях применяют пески с повышенным содержанием тонких частиц? 8. Почему ограничивают содержание в песках глинистых примесей? 9. Что

такое наибольшая и наименьшая крупность заполнителя? 10. Какое соотношение принимают между наибольшей крупностью заполнителя и размерами бетонной конструкции? 11. Какие ограничения установлены для крупности заполнителя в бетонных смесях, перекачиваемых бетононасосами? 12. Какие требования предъявляют к крупным заполнителям бетона — гравию и щебню? 13. Укажите виды пористых заполнителей для изготовления легкого бетона. 14. Опишите принципы изготовления керамзита, аглопорита, вспученного перлита и других пористых заполнителей. 15. Какие требования предъявляют к пористым заполнителям? 16. В чем заключаются особенности строения пористых заполнителей и как отражаются эти особенности на свойствах бетонной смеси и затвердевшего бетона?

ГЛАВА V

БЕТОННЫЕ СМЕСИ, БЕТОН И РАСТВОР

§ 15. БЕТОННЫЕ СМЕСИ

Бетонную смесь получают после тщательного перемешивания вяжущего вещества, мелкого и крупного заполнителей, воды и необходимых добавок. До затвердевания смесь находится в пластичном состоянии, что позволяет формировать из нее бетонные изделия любой конфигурации.

По физическому состоянию бетонная смесь занимает особое, промежуточное положение между жидкостями и твердыми телами. Подобно твердому телу смесь, находящаяся в состоянии покоя, обладает упругостью и прочностью структуры. Когда прочность структуры преодолена, бетонная смесь становится подобной вязкой жидкости.

Эти особенности проявляются в процессе транспортирования, укладки и уплотнения смеси. Под влиянием внешних механических усилий — силы тяжести, давления в бетононасосе, вибрирования — нарушается взаимодействие между составляющими бетонной смеси, что приводит к уменьшению ее структурной прочности. Бетонная смесь разжижается и приобретает способность перемещаться по трубопроводам и заполнять опалубку под действием силы тяжести. Явление разжижения бетонной смеси обратимо: после прекращения механического воздействия прочность структуры вновь возрастает. Свойство бетонной смеси разжижаться при механическом воздействии и вновь загустевать в спокойном состоянии, называемое *тиксотропией*, используют при перекачивании бетононасосами, виброуплотнении бетона, формировании изделий способом немедленной распушки.

В практике производства бетонных работ для оценки свойств бетонной смеси используют технические характеристики. Самая важная характеристика — удобоукладываемость, т.е. способность бетонной смеси заполнять форму при заданном способе уплотнения и образовывать в результате уплотнения плотную, однородную массу. Для оценки

удобоукладываемости используют три показателя: подвижность, жесткость и связность смеси.

Подвижность бетонной смеси определяют по осадке стандартного конуса (рис. 16). Усеченный конус изготовляют из тонкой листо-

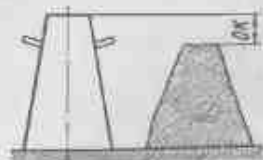


Рис. 16. Схема определения подвижности бетонной смеси.

вой стали следующих размеров: высота 300 мм, диаметр нижнего основания 200, верхнего — 100 мм. Конус устанавливают на горизонтальной площадке, не впитывающей влагу. Берут пробу бетонной смеси, например из автобетоносмесителя. Конус наполняют в три приема, каждый раз уплотняя смесь 25 ударами металлического стержня-штыковки. Поверхность смеси заглаживают, затем конус снимают и устанавливают рядом. Под действием силы тяжести бетонная смесь деформируется и оседает. Разность высот металлической формы конуса и осевшей бетонной смеси, выраженная в см, характеризует подвижность смеси и называется *осадкой конуса* (ОК). С помощью этого показателя оценивают подвижность пластичных бетонных смесей.

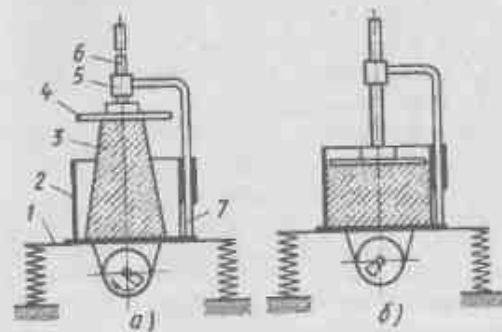


Рис. 17. Схема определения жесткости бетонной смеси:

а — прибор в исходном положении, б — после окончания вибрирования; 1 — виброплощадка, 2 — цилиндр, 3 — конус с бетонной смесью, 4 — диск с отверстиями, 5 — втулка, 6 — штыг, 7 — штатив

Жесткость смесей, у которых значение $OK = 0$, характеризуют показателем жесткости, определяемым на приборе (рис. 17), который представляет собой металлический цилиндр 2 диаметром 240 мм и высотой 200 мм. Цилиндр устанавливают на лабораторную виброплощадку 1 со стандартными характеристиками частоты (50 Гц) и амплитуды колебаний (0,5 мм в ненагруженном состоянии). Затем в цилиндр вставляют конус 3 и заполняют его бетонной смесью так же, как и при определении подвижности.

После этого конус снимают и, поворачивая штатив, опускают стальной диск 4 на бетонную смесь. Общая масса диска с шайбой и штативом

составляет около 2750 г, что создает при уплотнении пригруз 0,9 кПа. Включив виброплощадку, вибрируют смесь до тех пор, пока цементное тесто не начнет выделиться из всех отверстий диска. В этот момент вибратор выключают. Время, необходимое для уплотнения смеси в приборе, называют *показателем жесткости бетонной смеси* (Ж) и выражают в секундах.

В зависимости от удобоукладываемости различают жесткие и подвижные бетонные смеси (табл. 13).

Таблица 13. Классификация бетонных смесей

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности, см
Ж4	31 и более	—
Ж3	21...30	—
Ж2	11...20	—
Ж1	5...10	—
П1	1...4	4 и менее
П2	—	5...9
П3	—	10...15
П4	—	16 и более

Жесткие бетонные смеси содержат небольшое количество воды. При их укладке требуется сильное механическое уплотнение, например пресование, длительное вибрирование под нагрузкой, вибротрамбование. Жесткие смеси характеризуются небольшим расходом цемента. Используют эти смеси при изготовлении сборных железобетонных изделий и конструкций на заводах и домостроительных комбинатах, оборудованных мощными уплотняющими машинами. В построечных условиях жесткие смеси применяют редко.

В подвижных бетонных смесях воды содержится больше, чем в жестких. Эти смеси имеют вид густой, но подвижной массы, которая хорошо уплотняется вибрированием. Бетонные смеси марок П3 и П4 способны заполнять форму под действием силы тяжести, не требуя значительных механических усилий. Подвижные смеси легко поддаются транспортированию по трубопроводам с помощью бетононасосов.

Связность — это способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т.е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения. В результате уплотнения смеси составляющие ее частицы облекаются, а часть воды как наиболее легкого компонента отжимается вверх, образуя капиллярные ходы и полости под зернами крупного заполнителя. Крупный заполнитель, плотность которого отличается от плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), также перемещается в теле бетонной смеси. Если заполнитель плотный

и тяжелый, например гранитный щебень, частицы его оседают (рис. 18), пористые легкие заполнители — керамзит, аглопорит всплывают. Все это ухудшает структуру бетона, делает его неоднородным, увеличивает водопроницаемость и снижает морозостойкость. Чтобы повысить связность и предотвратить расслоение бетонной смеси, необходимо правильно назначать количество мелкого заполнителя в составе бетона, а также сокращать расход воды затворения, используя пластифицирующие добавки.

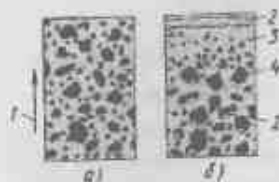


Рис. 18. Схема возможного расслоения бетонной смеси:
а — в процессе транспортирования и уплотнения, б — после уплотнения; 1 — направление, по которому отжимается вода, 2 — вода, 3, 4 — мелкий и крупный заполнители

Удобоукладываемость бетонной смеси должна соответствовать типу конструкций, их размерам, густоте армирования и применяемым средствам уплотнения. Ее можно регулировать, изучив факторы, под влиянием которых удобоукладываемость изменяется. Их подразделяют на количественные и качественные. Количественные факторы отражают соотношения между компонентами бетонной смеси. Важнейшими количественными факторами являются расход воды в бетонной смеси, объем цементного теста и объем цементно-песчаного раствора. Качественные факторы характеризуют особенности компонентов, которые входят в состав бетона, — вид цемента, заполнителей, пластифицирующих добавок.

Расход воды затворения — главный фактор, влияющий на удобоукладываемость бетонной смеси. Чем больше воды, тем меньше вязкость цементного теста и, следовательно, меньше нужно приложить усилий для перемещения частиц заполнителей с целью их плотной укладки. При расчете состава бетона на определенных материалах учитывают, что количество воды для получения смеси заданной подвижности — приблизительно постоянная величина, если расход вяжущего не превышает 400 кг на 1 м³ бетона. Это положение известно в бетоноведении как "правило постоянства расхода воды". Количество воды для получения бетонных смесей заданной удобоукладываемости определяют с помощью таблиц или графиков, составленных на основании практических данных (табл. 14).

Приведенные в табл. 14 данные справедливы для бетона на портландцементе, изготовленного с применением песка средней крупности. При использовании пуццолановых цементов расход воды увеличивают на 15...20 л.

С увеличением объема цементного теста возрастает толщина прослоек между зернами заполнителей и тем самым облегчается их взаимное перемещение. Цементное тесто в бетонной смеси выполняет роль смазоч-

Таблица 14. Расход воды, л, на 1 м³ бетонной смеси

Характеристика бетонной смеси		Расход воды при наибольшей крупности заполнителя, мм							
		гравий				щебень			
ОК, см	Ж, с	10	20	40	70	10	20	40	70
—	40...50	150	135	125	120	160	150	135	130
—	25...35	160	145	130	125	170	160	145	140
—	15...20	165	150	135	130	175	165	150	145
—	10...15	175	160	145	140	185	175	160	155
2...4	—	190	175	160	155	200	190	175	170
5...7	—	200	185	170	165	210	200	185	180
8...10	—	205	190	175	170	215	205	190	185
10...12	—	215	205	190	180	225	215	200	190
12...16	—	220	210	197	185	230	220	207	195
16...20	—	227	218	203	192	237	228	213	202

ного материала. Минимальный объем теста, необходимого для обмазки зерен и заполнения пустот между ними, составляет 240...270 л на 1000 л бетона, что соответствует наименьшему расходу цемента, равному 200...220 кг на 1 м³ бетона.

Объем цементного раствора в бетонной смеси назначают с учетом пустотности крупного заполнителя. Если заполнить раствором (смесью цемента, песка и воды) только пустоты между зернами щебня или гравия, то взаимное перемещение этих зерен будет затруднено и получится очень жесткая бетонная смесь. Для улучшения удобоукладываемости смесей объем цементного раствора назначают большим, чем объем пустот в крупном заполнителе. Однако объем раствора нельзя увеличивать чрезмерно. Чем больше раствора содержит бетонная смесь, тем больше требуется цемента, а это удорожает бетон.

Вид цемента также влияет на удобоукладываемость бетонной смеси. Некоторые цементы содержат значительную долю минеральных добавок, например трепела или диатомита. Они обладают тонкопористой структурой и способны поглощать много воды. Поэтому применение цементов с минеральными добавками, в частности пуццоланового портландцемента, увеличивает водопотребность бетонных смесей.

Вид заполнителей влияет на удобоукладываемость бетонных смесей по многим причинам. Применяемые в бетоне заполнители обладают весьма разнообразными свойствами. Они бывают плотными и пористыми, с гладкой или шероховатой поверхностью, сильно различаются по крупности зерен. Все это сказывается на расходе воды в бетонной смеси.

Все количество воды, идущей на затворение бетона, можно условно разделить на две составные части: одна часть расходуется на смачивание

частиц цемента и образование пластичного теста, другая смачивает зерна заполнителей и впитывается в них, если заполнитель пористый. Количество воды, необходимой для смачивания, зависит от вида и крупности заполнителя, а также содержания в нем мелких частиц (пыли, глины, ила). Чем меньше крупность заполнителя, тем больше его удельная поверхность и тем, следовательно, больше потребуется воды для затворения бетонной смеси. По этой же причине возрастает расход воды в смесях, изготовляемых на мелких песках.

Характер поверхности зерен заполнителя также влияет на водопотребность смесей. У гравия гладкая поверхность и окатанные зерна, поэтому бетонные смеси на гравии требуют меньшего количества воды, чем смеси на щебне, обладающем шероховатой поверхностью. Если применяют пористые заполнители, расход воды в бетонных смесях сильно увеличивается.

Применение пластифицирующих добавок — наиболее эффективный способ регулирования удобоукладываемости бетонных смесей и раствора.

Добавки значительно сокращают расход воды, что позволяет увеличить плотность, прочность и морозостойкость бетона. Если необходимо сохранить прочность бетона на заданном уровне, пластифицирующим эффектом используют для уменьшения расхода цемента. Добавки увеличивают связность бетонных смесей, предотвращая их расслоение.

Для характеристики бетонных смесей, транспортируемых с помощью бетононасосов, используют понятие удобоперекачиваемости.

Удобоперекачиваемость — это способность бетонных смесей и раствора транспортироваться по трубопроводу под действием внешних сил на предельные расстояния без расслоения и образования пробок. Эти смеси должны обладать повышенной связностью и однородностью. Состав бетонной смеси подбирают таким, чтобы при перемещении ее в бетоноводе постоянно сохранялся пристенный смазочный слой, зерна заполнителей не соприкасались между собой, а давление передавалось по жидкой фазе. Для этого необходимо, чтобы объем цементного теста был больше объема пустот смеси крупного и мелкого заполнителей хотя бы на 40 л (в расчете на 1000 л бетона). Если это условие не выполнено, бетонная смесь не поддается перекачиванию.

Рекомендуемая подвижность бетонной смеси должна находиться в пределах 4...14 см осадки стандартного конуса. Жесткие и литые несвязные смеси не пригодны для перекачивания: они характеризуются относительно небольшим объемом цементного теста и поэтому оказывают значительное сопротивление движению, которое может оказаться больше давления, развиваемого бетононасосом (около 5 МПа). Это вызывает закупорку бетоноводов. Бетонные смеси марки П4 при перекачивании, как правило, расслаиваются из-за избытка свободной воды, что также приводит к образованию пробок в бетоноводах.

Консистенцию удобоперекачиваемых смесей регулируют, изменяя состав бетона, т.е. обеспечивая определенное соотношение между растворной частью и крупным заполнителем. Объем растворной части в рас-

чете на 1 м³ бетонной смеси должен быть не менее 550 л в случае использования заполнителей фракции 5...20 мм и не менее 500 л — при фракции 5...40 мм. При тщательном подборе зернового состава заполнителей и надлежащем содержании мелких (менее 0,315 мм) и пылевидных (размерами 0,06...0,16 мм) частиц расход цемента в бетонной смеси, предназначенной для перекачивания бетононасосами, оказывается не больше, чем в смесях такой же подвижности, укладываемых другими механизмами.

Чтобы повысить удобоперекачиваемость, целесообразно вводить в состав бетонных смесей и раствора органические пластификаторы, используемые для улучшения удобоукладываемости смесей.

Качество приготовленной бетонной смеси в построечных условиях можно определить по ее внешнему виду. Хорошо перемешанная и правильно подобранная смесь будет однородной, а зерна крупного заполнителя покрыты раствором, т.е. смесью цемента, песка и воды. Пластичная смесь не должна расслаиваться. Жесткая смесь похожа на влажную землю и плохо уплотняется штыкованием.

Для визуальной оценки качества пластичных смесей применяют пробу "на лопату". Ударяют плашмя лопатой по бетонной смеси и смотрят на оставленный след. Если после удара промежутки между крупными частицами не заполняются раствором, то смесь содержит недостаточное количество раствора. При укладке такой смеси возможно образование раковин. Если след от лопаты оказывается слишком глубоким, то это означает, что в смеси избыток раствора. Это приводит к излишней пористости бетона.

§ 16. КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНА

В результате затвердевания тщательно перемешанной и уложенной в конструкцию бетонной смеси получается искусственный камневидный строительный материал — бетон. В строительстве применяют бетоны разнообразного назначения, характеризующиеся различными свойствами. Бетоны классифицируют по ряду признаков: средней плотности, целевому назначению, виду вяжущего, виду заполнителей, структуре.

В зависимости от средней плотности различают особо тяжелые, тяжелые, легкие и особо легкие бетоны.

Особо тяжелые бетоны со средней плотностью более 2500 кг/м³ изготавливают на особо тяжелых заполнителях (магнетите, лимоните, барите, чугунной дроби, обрезках стали). Эти бетоны применяют для изготовления специальных конструкций, например при сооружении зданий атомных электростанций для защиты от радиоактивного излучения.

Тяжелые бетоны со средней плотностью 2000...2500 кг/м³ изготавливают на плотном песке и крупном заполнителе из плотных горных пород и используют во всех несущих конструкциях.

Легкие бетоны со средней плотностью 500...2000 кг/м³ изго-

товляют на пористом крупном заполнителе и пористом или плотном мелком заполнителе. Их используют в основном для производства ограждающих конструкций (при $\rho_m < 1600 \text{ кг/м}^3$) либо для несущих конструкций (при $\rho_m = 1200...2000 \text{ кг/м}^3$).

Классификация бетонов по средней плотности — это, в сущности, разделение по структурному признаку в зависимости от общей пористости. Основная доля в объеме бетона приходится на заполнители, поэтому плотность бетона регулируют, применяя плотные или пористые заполнители. Кроме того, используют и другие пути, например поризацию вяжущего воздухововлекающими добавками.

По назначению (области применения) бетоны подразделяют на конструктивные и специальные.

Конструктивные бетоны используют для изготовления несущих и ограждающих конструкций. Они должны обеспечивать главным образом механические характеристики конструкций — прочность, упругость, деформационные и другие свойства. Из числа конструктивных чаще всего применяют тяжелый бетон, легкий и ячеистый.

Специальные бетоны предназначены для конструкций, эксплуатируемых в особых условиях, и включают в себя теплоизоляционные, жаростойкие, химически стойкие, радиационно-защитные, декоративные бетоны.

Область применения бетона различных видов определяется, с одной стороны, характером их строения, а с другой — способностью противостоять физико-химическим воздействиям окружающей среды. Стойкость к воздействиям окружающей среды в значительной степени зависит от вида вяжущего вещества, использованного для изготовления бетонной конструкции.

По виду вяжущего бетоны подразделяют следующим образом.

Бетоны на цементных вяжущих изготавливают преимущественно на портландцементе, шлакопортландцементе, пуццолановом портландцементе и их разновидностях. Такие бетоны универсальны для изготовления несущих и ограждающих конструкций в промышленном, гражданском и жилищном строительстве, за исключением тех случаев, когда предъявляют особые требования, например по жаростойкости, химической стойкости.

Бетоны на известковых вяжущих применяют только для изготовления сборных бетонных и железобетонных элементов на заводах.

Бетоны на гипсовых вяжущих используют из-за низкой водостойкости вяжущих только для производства внутренних конструкций зданий.

Бетоны на шлаковых вяжущих, изготавливаемые на основе молотых шлаков и зол с активизаторами твердения, используют при производстве бетонных (а не железобетонных) изделий и конструкций. Применение местных шлаковых вяжущих позволяет экономить цемент и удешевлять конструкции.

Бетоны на специальных вяжущих (органических или неорганических), к каждому из которых предъявляют определенное требование, включают в себя бетоны на полимерных, фосфатных, магниевых связующих, бетоны на жидком стекле.

По виду заполнителей различают бетоны на плотных, пористых и специальных заполнителях.

Бетоны на плотных заполнителях изготавливают на заполнителях из плотных горных пород или шлаков.

Бетоны на пористых заполнителях изготавливают с использованием искусственных пористых заполнителей или заполнителей из пористых горных пород.

Бетоны на специальных заполнителях изготавливают с применением заполнителей, придающих им особые свойства. В число специальных заполнителей входят, например, рудосодержащие породы, чугунный скрап, шамот.

В зависимости от характера структуры выделяют следующие виды бетонов.

Бетоны плотной (слитной) структуры, в которых пространство между зёрнами заполнителей полностью занято затвердевшим вяжущим веществом. Допускаемый объем межзерновых пустот в уплотненной бетонной смеси не превышает 6%.

Крупнопористые бетоны (беспесчаные или малопесчаные), в которых значительная часть объема межзерновых пустот остается не занятой мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим.

Поризованные бетоны, в которых пространство между зёрнами заполнителей занято вяжущим веществом, поризованным пенообразующими или газообразующими добавками.

Ячеистые бетоны — бетоны с искусственно созданными ячейками-порами, состоящие из смеси вяжущего вещества, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и пенообразующей добавки.

Бетоны слитной структуры применяют для изготовления несущих конструкций, к которым предъявляют повышенные требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Крупнопористые, поризованные и ячеистые бетоны рекомендуется использовать преимущественно для изготовления ограждающих и теплоизоляционных конструкций.

Технические требования к основным свойствам бетона — прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, плотности — установлены в государственных стандартах и СНиПах. Кроме того, в стандартах на специальные бетоны дополнительно нормируют специфические для данного бетона свойства, например тепловыделение гидротехнического бетона, истираемость дорожного бетона.

§ 17. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Общие закономерности, определяющие структуру и технические свойства бетонов, целесообразно рассмотреть на примере тяжелого бето-

на, применяемого наиболее часто для изготовления монолитных сооружений и сборных конструкций.

Затвердевший бетон относится к материалам конгломератного типа, так как состоит из заведомо разнородных зерен заполнителя, скрепленных цементным камнем.

В структуре бетона выделяют три элемента: цементный камень, заполнитель и зону контакта между ними. Количественные соотношения и качественное различие этих элементов предопределяют характер структуры и свойства бетона. Различают макро- и микроструктуру бетона.

Макроструктура (рис. 19) характеризует строение бетона как искусственного конгломерата и зависит от соотношения между компонентами бетона, а также однородности их распределения. Учитывают и воздушные пустоты, возникающие вследствие недоуплотнения бетонной смеси. Большое влияние на свойства бетона оказывают также усадочные трещины, образующиеся в процессе твердения в цементном камне и контактной зоне и нарушающие монолитность бетона.

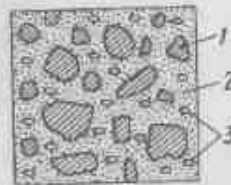


Рис. 19. Схематическое изображение макроструктуры бетона:
1 — крупный заполнитель, 2 — растворная часть, 3 — воздушные поры

Микроструктура затвердевшего бетона характеризуется составом и строением твердого вещества, размером и характером пор, а также строением контактной зоны между компонентами бетона в единое целое. Поэтому к важнейшим свойствам, определяющим качество цементного камня, относятся прочность и адгезия, т.е. способность к сцеплению с зернами заполнителя. В состав цементного камня входят продукты гидратации цемента и многочисленные включения в виде негидратированных зерен клинкера и минеральных добавок. Продукты гидратации представлены в основном мельчайшими кристаллами гидросиликатов кальция и, кроме того, более крупными кристаллами гидроксида кальция.

Основными показателями качества тяжелого бетона являются прочность на сжатие и растяжение, морозостойкость, водонепроницаемость.

Прочность бетона в проектом возрасте характеризуют классами прочности на сжатие и осевое растяжение. Отличительная особенность бетонных работ — значительная неоднородность получаемого бетона. Чем выше культура строительства, лучше качество приготовления и укладки бетона в конструкции, тем меньше будут возможные колебания прочности. Следовательно, важно не только получить бетон с заданной средней прочностью, но и обеспечить ее во всем объеме изготавливаемых конструкций.

Показателем, который учитывает возможные колебания качества, является класс бетона. Класс бетона — это численная характеристика какого-либо его свойства, принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 0,95). Это значит, что установленное классом свойство, например прочность бетона, достигается хотя бы в 95 случаях из 100.

Понятие "класс бетона" позволяет назначать прочность с учетом ее фактической или возможной вариации. Чем меньше изменчивость прочности, тем выше класс бетона при одной и той же его средней прочности.

ГОСТ 26633—85 устанавливает следующие классы тяжелого бетона по прочности на сжатие: 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55 и 60. Класс по прочности на сжатие обозначают латинской буквой В, справа от которой приписывают его прочность в МПа. Так, у бетона класса В15 предел прочности при сжатии не ниже 15 МПа с гарантированной обеспеченностью 0,95.

В необходимых случаях устанавливают также класс бетона по прочности на осевое растяжение, обозначаемый индексом В_т. Для тяжелого бетона приняты следующие классы: В_т0,8; В_т1,2; В_т1,6; В_т2; В_т2,4; В_т2,8 и В_т3,2. Цифра обозначает выраженный в МПа предел прочности при осевом растяжении.

На растяжение бетон работает намного хуже, чем на сжатие: предел прочности при растяжении в 10...20 раз меньше предела прочности при сжатии. Для повышения несущей способности, в особенности при изгибе и растяжении, бетон сочетают со стальной арматурой, изготавливая железобетонные конструкции.

В соответствии со стандартом СЭВ 1406—78 класс является основным показателем прочности бетона. Для изделий и конструкций, запроектированных без учета требований этого стандарта, прочность бетона характеризуют маркой. Марка бетона — это численная характеристика какого-либо его свойства, рассчитываемая как среднее значение результатов испытания образцов. При определении марок по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости принимают нижнее предельное значение свойств, а марку по средней плотности — по верхнему предельному значению. В отличие от класса марка бетона не учитывает колебаний прочности во всем объеме бетонированной конструкции.

Марка по прочности на сжатие — наиболее распространенная характеристика бетона. Марку определяют испытанием на осевое сжатие (см. рис. 5) бетонных образцов-кубов размерами 15×15×15 см. Полученный при испытании предел прочности при сжатии, выраженный в кгс/см², является численной характеристикой марки.

Установлены следующие марки тяжелого бетона по прочности на сжатие: 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 700 и 800. В обозначении используют индекс "М". Например, марка бетона М200 означает, что его предел прочности при сжатии не менее 200 кгс/см².

По прочности на осевое растяжение тяжелый бетон может быть следующих марок (кгс/см²): Р_т5, Р_т10, Р_т15, Р_т20, Р_т25, Р_т30, Р_т35, Р_т40, Р_т45, Р_т50.

Бетон для изготовления изгибаемых железобетонных конструкций дополнительно характеризуют марками по прочности на растяжение при изгибе: $R_{н5}, R_{н10}, R_{н15}, R_{н20}, R_{н25}, R_{н30}, R_{н35}, R_{н40}, R_{н45}, R_{н50}, R_{н55}, R_{н60}, R_{н65}, R_{н70}, R_{н80}, R_{н90}, R_{н100}$.

Соотношение между классами и марками бетона неоднозначно и зависит от однородности бетона, оцениваемого с помощью коэффициента вариации. Чем меньше коэффициент вариации, тем однороднее бетон. Класс бетона одной и той же марки существенно увеличивается, если удастся снизить коэффициент вариации. Например, при марке по прочности на сжатие М300 и коэффициенте вариации 18 % получают бетон класса В15, а при коэффициенте вариации 5 % — класса В20, т.е. на целую ступень выше. Это подчеркивает необходимость тщательного выполнения всех технологических рекомендаций, повышения технического уровня и культуры производства бетонных работ. Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и растяжение и его марками при нормативном коэффициенте, равном 13,5 % и характеризующем технологию бетонных работ как удовлетворительную, приведено в табл. 15.

Таблица 15. Соотношение между марками и классами тяжелого бетона по прочности

Класс бетона	Средняя прочность бетона данного класса, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона	Отклонение средней прочности бетона данного класса от марки, %
Сжатие			
В3,5	46	М50	-9,1
В5	65	М75	-14,5
В7,5	98	М100	-1,8
В10	131	М150	-14,5
В12,5	164	М150	+8,4
В15	196	М200	-1,8
В20	262	М250	+4,5
В25	327	М350	-6,9
В30	393	М400	-1,8
В35	458	М450	+1,8
В40	524	М550	-5,1
В45	589	М600	-1,8
В50	655	М700	-6,9
В55	720	М700	+2,8
В60	786	М800	-1,8

Класс бетона	Средняя прочность бетона данного класса, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона	Отклонение средней прочности бетона данного класса от марки, %
Освое растяжение			
В _р 0,8	10,5	Р10	+4,6
В _р 1,2	15,7	Р15	+4,5
В _р 1,6	21,0	Р20	+4,5
В _р 2,0	26,2	Р25	+4,5
В _р 2,4	31,4	Р30	+4,5
В _р 2,8	36,7	Р35	+4,6
В _р 3,2	41,9	Р40	+4,6

Прочность — основная характеристика бетона как конструкционного материала. Численное значение прочности определяется действием многих факторов. К важнейшим из них относятся качество примененных материалов и пористость бетона.

Исследованиями проф. И.Г. Малыги в 1895 г. была установлено, что прочность плотноуложенного бетона понижается по мере увеличения количества воды в бетонной смеси. Зависимость прочности затвердевшего бетона от количества воды затворения в бетонной смеси условно показана на рис. 20. При изготовлении бетона из одних и тех же материалов, постоянном расходе цемента и одинаковой затрате энергии на уплотнение бетонной смеси зависимость изображена кривой с двумя ветвями. Левая ветвь соответствует неудобоукладываемым смесям, слишком жестким для данного способа уплотнения. Низкая прочность бетона в этой части кривой объясняется многочисленными крупными воздушными пустотами, кавернами, неплотностями, которые возникают вследствие чрезмерно высокой (для данного способа уплотнения) вязкости цементного теста и недостаточного его объема. По мере увеличения расхода воды объем теста возрастает, а его вязкость снижается, так что возможно уложить смесь весьма плотно, с наименьшим числом дефектов. Максимум на кривой прочности соответствует оптимальному для данного способа уплотнения расходу воды, при котором смесь укладывается наиболее плотно. При большем расходе воды бетонная смесь укладывается так же плотно, однако прочность бетона уменьшается (см. правую ветвь кривой) вследствие того, что лишь часть добавляемой воды (15...20 % от массы цемента) связывается.

В плотноуложенном бетоне возникновение пор связано с физико-химическими процессами твердения цемента, а также с испарением воды, которая не связывается в новообразования. Следовательно, пористость такого бетона обусловлена в основном пористостью цементного камня. Избыток воды образует в бетоне множество тонких капиллярных пор и полостей, поэтому плотность и прочность бетона снижаются.

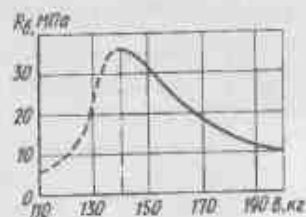


Рис. 20. Зависимость прочности бетона R_b от количества воды затворения B (расход цемента и работа уплотнения постоянны)

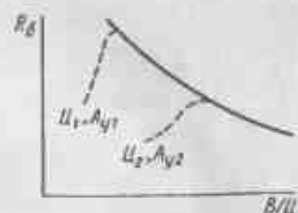


Рис. 21. Зависимость прочности бетона R_b от B/U при различном расходе цемента U и работе уплотнения A_y ($U_1 > U_2$, $A_{y1} > A_{y2}$)

Кривая на рис. 20 получена для бетона, изготовленного при постоянном расходе цемента и заданной работе уплотнения смеси. При изменении расхода цемента и работы уплотнения максимум кривой смещается, как показано на рис. 21. Огибающая кривая, которая объединяет точки с оптимальными частными значениями B/U , представляет собой гиперболу и выражает общую зависимость прочности бетона сплостного строения от водоцементного отношения.

Для расчета прочности бетона используют формулу

$$R_b = AR_u (U/B \pm b), \quad (21)$$

где R_b — прочность бетона на сжатие; A — коэффициент, учитывающий качество заполнителей; R_u — марка (активность) цемента; U и B — соответственно расход цемента и воды в бетонной смеси; b — постоянный коэффициент, определяемый опытным путем.

Эта формула выражает основной закон прочности бетона. В ней учитываются важнейшие факторы, влияющие на прочность бетона: качество заполнителей (A), качество цемента (R_u) и качество цементного камня, т.е. его пористость (U/B). Прочность бетона окажется тем выше, чем лучше заполнители, выше марка цемента и больше значение U/B . При постоянном расходе цемента прочность бетона с увеличением расхода воды уменьшается, а с уменьшением расхода воды увеличивается. Формула справедлива для расчета прочности плотноуложенного бетона, твердеющего в нормальных температурно-влажностных условиях и испытанного по стандартной методике в возрасте 28 сут.

Для составов бетона, характеризующихся значениями $U/B = 1,4 \dots 2,5$, формула (21) принимает вид

$$R_b = AR_u (U/B - 0,5), \quad (22)$$

а для $U/B = 2,5 \dots 3,3$

$$R_b = A_1 R_u (U/B + 0,5). \quad (23)$$

Значения коэффициентов A и A_1 , учитывающих качество заполнителей, приведены в табл. 16.

Таблица 16. Коэффициенты A и A_1 в формулах прочности бетона

Характеристика заполнителей	A	A_1
Высококачественные (мелкие фракционированные заполнители из плотных и прочных горных пород)	0,65	0,43
Рядовые (заполнители среднего качества, в том числе гранит)	0,6	0,4
Пониженного качества (крупный заполнитель низкой прочности, например щебень из карбонатных пород, мелкий песок)	0,55	0,37

Марку по морозостойкости назначают и контролируют для бетона в конструкциях, подвергающихся в увлажненном состоянии действию попеременного замораживания и оттаивания (например, в гидротехнических сооружениях, дорожных и аэродромных покрытиях). Установлены следующие марки тяжелого бетона по морозостойкости (в циклах): F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800 и F1000.

Марку по водонепроницаемости назначают для бетона конструкций, которые должны обладать ограниченной проницаемостью при одностороннем давлении воды. Установлены следующие марки по водонепроницаемости (в кгс/см²): W2, W4, W6, W8, W10, W12, W16, W18 и W20.

Часто тяжелый бетон применяют для изготовления конструкций, подвергающихся в процессе эксплуатации агрессивному воздействию окружающей среды. К ним относят бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений, дорожные покрытия. В этих случаях устанавливают дополнительные технические требования и вводят ограничения по составу бетона с учетом условий его работы в конструкциях.

Гидротехнический бетон используют для возведения плотин, шлюзов, набережных, мелкоративных сооружений. К нему предъявляют требования по прочности, плотности, водонепроницаемости, морозостойкости. В зависимости от расположения в гидротехническом сооружении различают бетон наружной и внутренней зон.

Бетон наружной зоны, в свою очередь, подразделяют на подводный (постоянно находящийся в воде), бетон переменного уровня воды и надводный. В наиболее тяжелых условиях служат бетоны переменного уровня воды и надводный. Они многократно замерзают и оттаивают, увлажняются и высыхают, находясь в напряженном состоянии. Чтобы обеспечить надежную работу этих бетонов, устанавливают классы по прочности не ниже B20, марки по морозостойкости в пределах F100...F400, по водонепроницаемости W6...W12.

Для достижения высокого качества бетона наружных зон сооружения используют стойкие цементы (сульфатостойкий портландцемент, цементы с органическими добавками) и высококачественные морозостойкие заполнители.

Подводный бетон подвергается физико-химической коррозии под влиянием воды и растворенных в ней веществ. Для такого бетона целесообразно применять сульфатостойкий либо пуццолановый портландцемент.

Высокая долговечность бетона наружной зоны гидротехнических сооружений во многом зависит от его пористости. Чем меньше пористость, тем меньше проницаемость бетона, больше его долговечность. Пористость бетона зависит от водоцементного отношения в бетонной смеси, которое по ГОСТ 26633-85 ограничивают (табл. 17).

Таблица 17. Максимальные значения V/C в бетонных смесях для гидротехнических сооружений

Бетон	Значения V/C , не более, при марке по морозостойкости бетона конструкций						
	железобетонных и тонкостенных бетонных			массивных бетонных			
	F100 и менее	F150... F200	F300	F75 и менее	F100... F150	F200	F300
Подводный	0,60	—	—	0,60	—	—	—
Переименованный	—	0,45	0,42	—	0,55	0,50	0,45
Надводный	—	0,50	0,45	—	0,55	0,55	—

Бетон внутренней зоны массивных сооружений не испытывает непосредственного воздействия среды. С учетом массивности бетонируемой конструкции главное ограничение в таком бетоне — возможно меньшее тепловыделение при твердении, так как возникающий вследствие экзотермии перепад температур может вызвать растрескивание конструкции. Поэтому для изготовления внутримассивного бетона рекомендуют цементы с умеренным тепловыделением, например шлакопортландцемент или пуццолановый портландцемент. Хорошие результаты дает замена 20...30% цемента тонкодисперсной золой ТЭС, что позволяет снизить расход цемента до 100 кг на 1 м³ бетона.

Классы по прочности такого бетона — В7,5...В10, требования к водонепроницаемости минимальные — W2...W4.

Дорожный бетон применяют для устройства цементно-бетонных покрытий и оснований дорог, взлетно-посадочных полос аэродро-

мов, полов промышленных предприятий. Он должен хорошо сопротивляться истиранию и комплексному физико-химическому воздействию среды: воды и мороза с одновременным влиянием солей, употребляемых для очистки покрытий от льда. Важнейшие показатели качества дорожного бетона — высокая прочность, износостойкость и морозостойкость.

Бетонное покрытие дороги работает на изгиб как плита на упругом основании. Поэтому основная характеристика дорожного бетона — прочность на растяжение при изгибе. Прочность, сопротивление истиранию и морозостойкость бетона возрастают с увеличением плотности, поэтому ограничивают верхний предел водоцементного отношения в бетоне (табл. 18).

Таблица 18. Требования к дорожному бетону

Назначение бетона	V/C , не более	Характеристика бетона	
		марка по прочности на растяжение при изгибе	класс по прочности на сжатие
Для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий	0,5	R _и 40...R _и 55	B25...B40
Для нижнего слоя двухслойных покрытий	0,6	R _и 35...R _и 45	B20...B25
Для оснований усовершенствованных капитальных покрытий	Не ограничивается	R _и 15...R _и 35	B5...B20

Бетон для однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий должен обладать высокой морозостойкостью: при эксплуатации в суровом климате — не ниже F200, в умеренном — F150, в мягком — F100. Высокую морозостойкость бетона обеспечивают применением высококачественных материалов, и в первую очередь цемента. Для изготовления дорожного бетона рекомендуется употреблять портландцемент марки 500 и более, в котором содержание трехвалентного алюмината не превышает 10%, а также гидрофобный и пластифицированный портландцемент без минеральных добавок.

При прочности бетона на сжатие выше 30...40 МПа зерна заполнителя почти не выкрашиваются и истираемость в основном зависит от твердости заполнителя. Поэтому для дорожного бетона применяют твердые заполнители из изверженных горных пород — диорита, гранита, диабазы. Из искусственных заполнителей используют металлургические шлаки, обладающие высокой ударной вязкостью и хорошо сопротивляющиеся износу, а также новый щебневидный материал — дорсил.

§ 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА БЕТОНА

Состав бетона должен обеспечивать заданные свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона при минимальном расходе цемента как наиболее дорогостоящего компонента.

Исходные данные для определения состава содержатся в техническом проекте строительства и включают, как минимум, два требования: проектную марку (или класс) бетона по прочности и заданную условиями работ удобоукладываемость бетонной смеси. В некоторых случаях главными могут стать требования по морозостойкости, водонепроницаемости или химической стойкости бетона.

Состав выражают в виде расхода цемента, воды, мелкого и крупного заполнителей на 1 м^3 уплотненного бетона. Чтобы найти эти данные, используют следующие основные зависимости.

Количество воды затворения V , необходимое для получения бетонной смеси с заданной удобоукладываемостью, определяют по справочным данным (см. табл. 14).

Цементно-водное отношение, которое обеспечивает проектную прочность бетона, вычисляют по формуле (22)

$$C/V = R_b / AR_{cn} + 0,5.$$

Расход цемента находят с учетом уже известных значений V и C/V : $C = V(C/V)$.

Если расход цемента оказывается меньше допустимого по нормам, то его увеличивают, сохраняя расчетное значение C/V . При этом уточняют расход воды. В соответствии с требованиями норм минимальный расход цемента допускается в бетонных конструкциях 200 кг/м^3 , в железобетонных — 220 кг/м^3 . Чтобы обеспечить плотность бетона, предназначенного для работы в агрессивных средах, минимальный расход цемента принимают равным 250 кг/м^3 .

Расход крупного и мелкого заполнителей определяют, исходя из следующих положений:

объем плотноуложенного, т.е. не имеющего воздушных пустот бетона, принимаемый равным 1 м^3 или 1000 л, складывается из объема зерен мелкого и крупного заполнителей и объема цементного теста, заполняющего пустоты между ними; межзерновые пустоты в крупном заполнителе должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с учетом некоторой раздвижки зерен.

Расчетный состав бетона выражают в виде расхода компонентов в кг на 1 м^3 бетона. Сумма расходов компонентов численно равна средней плотности бетонной смеси. Рассчитанный состав проверяют путем пробного затворения бетона и вносят коррективы для достижения заданной удобоукладываемости бетонной смеси. Из бетонной смеси изготавливают контрольные образцы, которые после твердения по заданному режиму испытывают на прочность. Если полученная при испытании образцов прочность бетона отличается от заданной более чем на 15 %, то изменяют C/V в большую или меньшую сторону.

Окончательно определенный лабораторный состав бетона, полученный для сухих материалов, пересчитывают на рабочий (полевой) состав, в котором учтена влажность заполнителей. Для этого рассчитывают количество воды, содержащейся во влажных заполнителях.

Пример. В лабораторном составе расход сухого щебня равен 1100 кг, песка — 700, воды — 180 кг. Определим расход заполнителей, если их влажность по массе составляет: щебня 3 %, песка 5 %.

Масса воды, содержащейся в щебне, равна $1100 \cdot 0,03 = 33 \text{ кг}$, в песке — $700 \cdot 0,05 = 35 \text{ кг}$. Следовательно, расход влажного щебня составит $1100 + 33 = 1133 \text{ кг}$, а песка — $700 + 35 = 735 \text{ кг}$. При этом надо сократить расход добавляемой воды с учетом того, что часть ее содержится в заполнителях: $180 - (33 + 35) = 112 \text{ кг}$.

При определении состава бетонной смеси для транспортирования бетононасосами в первую очередь обеспечивают ее удобоперекачиваемость. Предварительно назначают несколько соотношений между песком и крупным заполнителем. Изготавливают пробные замесы с минимальным расходом цемента и осадкой конуса. Постепенно добавляя цементное тесто, определяют удобоперекачиваемость смеси. Оптимальным будет состав, который позволяет получать удобоперекачиваемую бетонную смесь и требуемую прочность бетона при наименьшем расходе цемента.

Для оценки удобоперекачиваемости в построечных условиях проверяют способность бетонной смеси всасываться без расслоения под воздействием атмосферного давления из приемного бункера в транспортные цилиндры бетононасоса.

В табл. 19 приведены ориентировочные составы бетонных смесей, приготовляемых в автобетоносмесителях.

Таблица 19. Примерные составы бетонных смесей с осадкой конуса 4...8 см

Способ подачи бетонной смеси	Расход материалов на 1 м^3 бетона, кг			
	цемента	песка	щебня	воды
Кранами в баках	350	680	1210	190
Бетононасосом	390	780	910	210
То же	300	800	1100	200

Таким образом, при тщательно подобранном зерновом составе заполнителей расход цемента в бетонной смеси, подаваемой бетононасосами, практически не отличается от расхода цемента в смесях такой же подвижности, укладываемых другими механизмами.

§ 19. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ КАЧЕСТВА БЕТОНА

В процессе переработки исходного сырья в готовый бетонный элемент качество бетона может измениться под воздействием ряда объективных и субъективных факторов. Совокупность этих производственных факторов можно условно разделить на группы, охватывающие все этапы бетонных работ.

Первый этап — оценка качества исходных материалов и определение состава бетона. В число факторов, оказывающих решающее влияние на показатели качества бетона (прочность, долговечность, экономичность), входят качество цемента, заполнителей и воды.

Качество цемента должно обеспечить получение бетона заданной прочности и долговечности. Поэтому марку цемента следует выбирать в зависимости от проектной прочности бетона, а вид цемента — в соответствии с условиями эксплуатации конструкции.

Как правило, марка цемента должна быть выше требуемой прочности бетона в 1,25... 2 раза. Отношение $R_{ц} : R_{б}$, близкое к 1, допускается только, если необходимо получить бетон высокой прочности — более 50 МПа. Если марка цемента немного превышает прочность бетона, то расход цемента, рассчитанный из условия прочности, оказывается меньше необходимого по условию плотности бетона. Чтобы избежать перерасхода высококачественного цемента, вводят в состав бетона тонкомолотую минеральную добавку.

Снижение расхода цемента как наиболее дорогостоящего компонента бетона важно не только по экономическим причинам. При сокращении количества цемента уменьшается усадка бетона, возрастает его трещиностойкость. В массивных конструкциях, например гидротехнических сооружениях, большой расход цемента вызывает значительное тепловыделение, которое может привести к растрескиванию бетонного массива в результате неравномерного разогрева бетона.

Вид цемента выбирают с учетом особенностей изготовления и условий эксплуатации бетона. Например, быстротвердеющие цементы целесообразно использовать при изготовлении сборных железобетонных изделий, так как при быстром наборе прочности ускоряется оборачиваемость металлических форм. Однако такие цементы вследствие большой экзотермии не рекомендуются для бетона в массивных конструкциях гидротехнических сооружений. Для этих целей больше подходят смешанные цементы (пушловановый и шлакопортландцемент). Для повышения морозостойкости бетона рекомендуется использовать цементы с органическими добавками — гидрофобный и пластифицированный.

Качество заполнителей оценивают зерновым составом, содержанием пылевидных и глинистых примесей, органических растительных остатков, вредных примесей и т.д. (см. гл. IV). Загрязненные заполнители подвергают промывке и классификации, рассевая на отдельные фракции.

Качество воды для изготовления бетона зависит от содержания сульфатов, хлоридов и ряда других соединений (см. гл. III). Без предварительного испытания можно применять воду, пригодную для питья, речную и озерную воду.

Второй этап — приготовление бетонной смеси и укладка ее в конструкцию. На данном этапе необходимо обеспечить приготовление однородной, хорошо перемешанной бетонной смеси, обладающей заданной удобоукладываемостью, и плотную укладку смеси в опалубку. Здесь главными факторами, определяющими качество бетона, являются однородность смешивания компонентов и качество уплотнения бетонной смеси.

Приготовление бетонной смеси включает операции дозирования и перемешивания составляющих материалов. Дозирование компонентов бетона осуществляют по массе, обычно с помощью автоматических дозаторов. Отклонения от заданной массы при дозировании на замес не должны превышать $\pm 2\%$ для цемента, воды и водных растворов добавок и $\pm 2,5\%$ для заполнителей.

Однородность смешивания компонентов достигается выбором типа смесителя и режима перемешивания в соответствии с удобоукладываемостью приготовляе-

мой бетонной смеси. При смешивании материалов приходится преодолевать силы сцепления между частицами, сопротивление смеси сдвигу, а также силы тяжести. Подвижные смеси с повышенным содержанием воды и вяжущего вещества, обладающие малым сопротивлением сдвигу, перемешиваются значительно легче, чем жесткие.

По принципу перемешивания бетоносмесители подразделяют на гравитационные и с принудительным перемешиванием. Гравитационные бетоносмесители выполнены в виде барабана, вращающегося вокруг горизонтальной оси. При перемешивании частицы смеси поднимаются на некоторую критическую высоту и, как только сила тяжести становится больше суммы центробежной силы и сил сцепления между частицами, они падают и, имея значительную кинетическую энергию, внедряются в бетонную смесь в нижней части смесительного барабана. Тем самым достигается эффект перемешивания.

Продолжительность перемешивания определяют опытным путем в строительной лаборатории. Для этого отбирают из смесителя пробы бетонной смеси с интервалом 15...30 с, изготавливают контрольные образцы. После затвердевания бетона определяют прочность и рассчитывают коэффициент вариации прочности бетона. Чем меньше коэффициент вариации, тем более однороден бетон. Продолжительность перемешивания назначают по времени, при котором коэффициент вариации прочности бетона не превышает 4...5%. При отсутствии опытных данных наименьшую продолжительность перемешивания в смесителях циклического действия назначают по данным табл. 20. Время перемешивания отсчитывают от момента окончания загрузки материалов в смеситель до начала выгрузки.

Таблица 20. Минимальная продолжительность перемешивания бетонной смеси в гравитационных смесителях (с)

Объем готового замеса, л	Смесь марок		
	П1	П2	П3 и П4
500 и менее	90	75	60
Более 500	150	120	90

Гравитационные смесители оказываются малопродуктивными для перемешивания жестких бетонных смесей; в таких случаях применяют машины принудительного перемешивания. В них компоненты смеси подвергают принудительному перемещению по весьма сложным траекториям, благодаря чему и получается однородная бетонная смесь. Продолжительность смешивания крупнозернистых смесей 2...3 мин, мелкозернистых — 3...5 мин.

Качество уплотнения бетонной смеси должно быть таким, чтобы уплотненный в опалубку или форму бетон обладал однородным строением с минимальным объемом вовлеченного воздуха — не более 2%. Энергетические затраты на уплотнение тем больше, чем выше жесткость бетонной смеси. Основным способом уплотнения является вибрирование. При вибрировании частицы бетонной смеси совершают вынужденные колебания, в результате которых ослабляются силы внутреннего трения и сцепления между частицами. Бетонная смесь переходит в состояние пластично-вязкого течения и, подобно тяжелой жидкости, равномерно укладывается в форму. Для уплотнения монолитного бетона на строительной площадке применяют переносные поверхностные и глубинные вибраторы.

На заводах железобетонных изделий используют эффективные комбинированные способы уплотнения бетонных смесей: вибрирование под нагрузкой, виброштампование, вибропрокат, прессование. Для изготовления полых железобетонных изделий, форма которых приближается к поверхности вращения (трубы, опоры ПЭИ), применяют уплотнение с помощью центробежных сил — центрифугирование.

Третий этап — твердение бетона. Уложенная в опалубку бетонная смесь благодаря гидратации цемента самопроизвольно затвердевает. Задавая проектом прочность достигается при определенном уходе за твердеющим бетоном, т.е. при создании оптимального температурно-влажностного режима твердения и защите бетона от ударов и сотрясений, которые могут нарушить еще не сложившуюся структуру.

Важнейшими факторами, влияющими на качество бетона на данном этапе, являются условия и длительность твердения.

Условия твердения считают нормальными, если бетон находится в теплой и влажной среде. При преждевременном высыхании или замерзании взаимодействие цемента с водой прекращается, что отрицательно сказывается на строении и свойствах бетона.

Длительность твердения учитывают при назначении сроков достижения бетоном проектной прочности. В нормальных условиях, т.е. во влажном воздухе с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, прочность бетона на сжатие нарастает пропорционально логарифму времени твердения:

$$R_n = R_{28} (\lg n / \lg 28), \quad (24)$$

где n — срок твердения в сутках ($n > 3$); R_{28} — прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут. Этой формулой пользуются для приведения значений прочности бетона, не достигшего возраста 28 сут, к стандартному 28-суточному.

Часто возникает необходимость ускорить твердение бетона. Для этой цели используют преимущественно тепловую обработку, позволяющую повысить температуру бетона при обязательном сохранении его влажности. В результате скорость взаимодействия цемента с водой значительно возрастает и прочность бетона в начальные сроки увеличивается. В качестве теплоносителя применяют пар или паровоздушную смесь с температурой $60 \dots 90^\circ\text{C}$. Прочность бетона после пропаривания в течение 10–14 ч достигает 70–75 % марочной. Еще более ускоряет твердение бетона обработка насыщенным паром при давлении $0,8 \dots 1,2$ МПа и температуре $175 \dots 190^\circ\text{C}$, осуществляемая в автоклавах. Однако такую обработку можно использовать только в заводских условиях, поэтому ее применяют в тех случаях, когда обычные методы ускорения твердения неэффективны, например для изделий из силикатных и ячеистых бетонов. Кроме тепловой обработки пропариванием для ускорения твердения бетона применяют электропрогрев изделий.

На строительных площадках широко используют тепловую обработку с помощью инфракрасного излучения. Излучатели инфракрасных лучей нагреваются электрическим током или газом. Выделяемая ими лучистая энергия поглощается стенками опалубки либо непосредственно изделием и аккумулируется в бетоне в виде теплоты.

Для ускорения твердения бетона применяют также добавки-ускорители (см. гл. III). Введение в бетонную смесь таких добавок повышает прочность бетона в возрасте 3 сут в 2–4 раза, а к 28 сут прочность оказывается такой же, как и у бетона без добавок.

§ 20. ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ

Легкие бетоны относят к наиболее распространенным материалам для изготовления несущих, ограждающих и теплоизоляционных конст-

рукций. Из легких бетонов чаще применяют бетоны на пористых заполнителях и ячеистые бетоны.

Марки легких бетонов на пористых заполнителях по средней плотности — D800...D2000, классы по прочности на сжатие — от B2,5 до B40.

Из такого бетона получают и более легкие конструкции. Теплопроводность легкого бетона гораздо ниже, чем тяжелого. Благодаря этому в наружных ограждающих конструкциях из легкого бетона не устраивают дополнительного теплоизоляционного слоя, как это делают в конструкциях из тяжелого бетона.

Легкобетонные смеси отличаются от обычных более низкой удобоукладываемостью как при недостатке, так и избытке воды затворения. Если расход воды меньше оптимального, то пластичность цементного теста недостаточна для сближения составляющих смеси и образования плотной (слитной) структуры. Избыток воды вызывает расслоение бетонной смеси и, как следствие, неоднородность свойств бетона в разных зонах бетонизируемой конструкции. Эти особенности учитывают при изготовлении и транспортировании легкобетонных смесей. Так, для обеспечения удобоупрекачиваемости смесей приходится предварительно насыщать пористый заполнитель водой.

Ячеистый бетон получают в результате затвердевания предварительно вспученной смеси вяжущего вещества, кремнеземистого компонента и воды. Для вспучивания смеси вводят в нее небольшое количество пенообразователя. Образующаяся при этом структура характеризуется большим количеством воздушных пор — ячеек диаметром от десятых долей миллиметра до нескольких мм. Такую структуру называют ячеистой. Благодаря большой пористости ячеистый бетон обладает малой плотностью и теплопроводностью. Это делает его эффективным материалом для ограждающих конструкций.

В качестве вяжущего в ячеистом бетоне используют портландцемент (цементный ячеистый бетон) или молотую негашеную известь (бесцементный, или силикатный, ячеистый бетон). Кремнеземистый компонент вводят в бетон в виде молотого кварцевого песка, пылевидной золы ТЭС либо молотого гранулированного шлака. По способу образования ячеистой структуры различают газобетон и пенобетон. Для получения газобетона вводят в сырьевую массу газообразователь (алюминиевую пудру). Ячеистая структура пенобетона образуется при механическом смешивании теста вяжущего с устойчивой технической пеной.

В зависимости от значений прочности ячеистого бетона на сжатие установлены следующие классы: B0,35...B20. Марки по средней плотности находятся в пределах D300...D1200. Целесообразно применять ячеистые бетоны для изготовления конструкций наружных стен и покрытий зданий, где используются их хорошие теплозащитные свойства.

§ 21. ЖАРОСТОЙКИЙ И ХИМИЧЕСКИ СТОЙКИЙ БЕТОНЫ

Жаростойкий бетон предназначен для конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации длительное воздействие высоких температур.

При нагреве бетона, изготовленного на портландцементе, происходят процессы дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и разложения гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, образовавшихся в процессе твердения цемента. В результате прочность бетона значительно уменьшается, а оксид кальция в последующем под воздействием влаги гидратируется и увеличивается в объеме. Это приводит к растрескиванию конструкций.

Для придания бетону на портландцементе необходимой стойкости к действию высоких температур в его состав вводят *тонкодисперсные добавки*, содержащие активный аморфный кремнезем, который способен связывать оксид кальция при температуре $700\text{--}900^\circ\text{C}$ благодаря реакции в твердом состоянии. В качестве добавок применяют пепзу, золу ТЭС, шамот, доменный гранулированный шлак. *Заполнителями* в жаростойких бетонах служат огнеупорные материалы: шамот, бой огнеупорного магнезитового кирпича, корунд, хромитовая руда. В качестве *вяжущих* используют жидкое стекло, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, периклазовый цемент, фосфатное связующее. Тип вяжущего вещества и заполнителей для жаростойкого бетона выбирают с учетом температуры эксплуатации конструкции.

По степени огнеупорности жаростойкие бетоны разделяют на следующие группы: высокоогнеупорные с огнеупорностью в пределах $1580\text{--}1770^\circ\text{C}$ и жароупорные с огнеупорностью ниже 1580°C .

Установлены классы жаростойкого бетона по прочности на сжатие (от В1 до В40). В зависимости от предельно допускаемой температуры применения жаростойкие бетоны подразделяют на классы от 3-го ($T = 300^\circ\text{C}$) до 18-го (1800°C).

Тяжелый и легкий жаростойкие бетоны применяют для футеровки печей, котлов, устройства дымовых каналов, труб в сооружениях различных отраслей промышленности: черной и цветной металлургии, химической, энергетической, при производстве строительных материалов.

Химически стойкий бетон изготавливают на специальных вяжущих — синтетических смолах, жидком стекле с полимерной добавкой.

Такой бетон оценивают с помощью коэффициента химической стойкости $K_{\text{хс}}$, равного отношению прочности образцов, подвергавшихся воздействию агрессивной среды, к прочности контрольных образцов. Чем выше этот коэффициент, тем большей стойкостью обладает бетон. Различают бетоны высокой стойкости ($K_{\text{хс}} \geq 0,8$), стойкие ($0,5\text{--}0,8$), относительно стойкие ($0,3\text{--}0,5$) и нестойкие ($K_{\text{хс}} < 0,3$).

Необходимая стойкость бетона обеспечивается применением стойких связующих веществ и заполнителей. К *связующим* относят фурфурол-ацетоновую, полиэфирную, карбамидную или фурано-эпоксидную смолу, жидкое стекло. *Заполнители* также должны быть кислотостойкими: кварцевый песок, гранитный щебень. Для повышения плотности бетона и сокращения расхода дорогостоящих смол в бетон вводят *кислотостойкие наполнители* — кварцевую или андезитовую муку.

Марки химически стойких бетонов по прочности на сжатие находятся в пределах М300...М1100, морозостойкость — 300...1000 циклов.

Бетоны на основе полимерных связующих называют *полимербетонами*, а на основе жидкого стекла с добавками полимеров — *полимерсиликатами*. Химически стойкие бетоны применяют для изготовления конструкций на предприятиях по производству кислот, минеральных удобрений, цветных металлов, искусственного волокна, целлюлозы, сахара, т.е. в тех случаях, когда бетон на портландцементе быстро разрушается.

§ 22. ПРИМЕНЕНИЕ БЕТОНА В МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В монолитных конструкциях используют в основном тяжелый бетон или легкий бетон на пористых заполнителях. Бетонную смесь обычно готовят на автоматизированных и механизированных бетонных заводах и поставляют на строительную площадку в виде так называемого товарного бетона. Вместе с тем нередко готовят смеси в автобетоносмесителях. Это особенно удобно в тех случаях, когда строительный объект удален от центрального бетонного завода на расстояние более 35...40 км.

В автобетоносмесителях можно перевозить как сухие бетонные смеси (т.е. не затворенные водой), так и готовые смеси с побуждением их в пути. Использование автобетоносмесителей особенно целесообразно при необходимости готовить смеси высокой подвижности, если предъявляют повышенные требования к однородности состава бетона. Это относится к бетонированию в скользящей опалубке, использованию трубопроводного транспорта. Время транспортирования в автосмесителях зависит от состояния перевозимой смеси и режима ее транспортирования (табл. 21).

Т а б л и ц а 21. Рекомендуемое время и режимы транспортирования сухой и смоченной смеси в автобетоносмесителях

Составные бетонной смеси	Время нахождения в пути, ч	Режим транспортирования смеси
Сухая смесь	Не ограничено	А
Смоченная	Не более 3 ч	Б

Примечание. Режим А — включение барабана в пути следования за 10...20 мин до выгрузки; режим Б — включение барабана сразу после его наполнения исходным материалом.

Во время транспортирования бетонных смесей, затворенных водой, барабан автобетоносмесителя периодически включают. Продолжительность транспортирования таких смесителей указана в ГОСТ 7473—85 с учетом температуры воздуха и температуры самой смеси (табл. 22). В автобетоносмесителях рекомендуется перевозить смеси лишь по дорогам с жестким дорожным покрытием — асфальтовым, асфальтобетонным.

Т а б л и ц а 22. Время транспортирования затворенной бетонной смеси в автобетоносмесителях при температуре воздуха 20...30 °С и температуре смеси 18...20 °С

Марка смеси	Средняя скорость транспортирования, км/ч	Максимальная продолжительность транспортирования, мин.
П1	30	200
П2	30	140
П3, П4	30	90

Примечания: 1. При температуре воздуха 6...20 °С и -5...5 °С время транспортирования может быть увеличено соответственно на 10 и 25 %. 2. Если температура воздуха достигает минусовых значений (-4...-20 °С), то время перевозки разогретых смесей уменьшают на 15 %, а при температуре -20...-40 °С на 30 %. 3. При температуре воздуха выше 30 °С время транспортирования уменьшают на 25 %. 4. Продолжительность транспортирования бетонных смесей, содержащих химические добавки, уточняют опытным путем.

Удобоукладываемость бетонной смеси в момент укладки, оцениваемую по осадке конуса, см, назначают в зависимости от типа конструкции и степени армирования.

Подготовка под фундаменты и полы, дорожные и аэродромные покрытия	1...2
Массивные неармированные и малоармированные конструкции	2...4
Армированные массивные конструкции, плиты, балки, колонны	4...8
Железобетонные конструкции, сильно насыщенные арматурой (силосы, бункера)	8...10
Конструкции, сильно насыщенные арматурой и закладными деталями (стены АЭС, швы, пазухи), в которых невозможен укладка пластичных смесей с вибрированием	20...24

Для перекачивания по трубопроводам наиболее пригодны смеси с осадкой конуса 6...8 см и водоцементным отношением 0,4...0,6. Бетононасосы способны перекачивать бетонную смесь на расстояния до 400 м по горизонтали и до 100 м по вертикали.

Особые требования предъявляют к бетонным смесям при работе в экстремальных условиях — жаркую погоду или в зимний период. В первом случае, особенно в районах с сухим климатом, вследствие разогрева материалов возникает опасность быстрого загустевания и схватывания

бетонной смеси, так как увеличивается скорость гидратации цемента. Поэтому цемент и заполнители хранят в условиях, исключающих их чрезмерный нагрев. Температура цемента должна быть не более 50 °С, а воды для затворения — возможно более низкой. Температура бетонной смеси в момент ее приготовления не должна превышать 20...25 °С. Для замедления сроков схватывания в состав смеси вводят пластифицирующие добавки.

Уложенный в конструкцию бетон защищают от попадания прямых солнечных лучей и иссушающего действия ветра, укрывая влагонепроницаемыми или влагоемкими материалами — полиэтиленовой пленкой, брезентом, мешковиной. После отвердевания бетона обильно увлажняют влагоемкие покрытия или создают на поверхности бетона слой воды (метод "покрывающих водных бассейнов").

При бетонировании в зимнее время используют специальные мероприятия, предохраняющие бетон от преждевременного замерзания и обеспечивающие набор прочности в заданные сроки. При температуре -4...-6 °С вода в бетоне замерзает и твердение прекращается. После оттаивания с появлением жидкой фазы процессы твердения возобновляются. Если бетон подвергался замораживанию в раннем возрасте, то после оттаивания и последующего твердения у него будет пониженная прочность. Это объясняется разрыхлением еще не вполне сложившейся структуры бетона вследствие перехода воды в лед. Поэтому в зимнее время создают такие условия твердения, при которых за двое-трое суток бетон набирает достаточную прочность (около 8...12 МПа), позволяющую выдерживать воздействие мороза. Эта цель достигается различными приемами.

Создание в бетонной смеси запаса теплоты, достаточного для поддержания положительной температуры твердеющего бетона вплоть до момента, когда его замерзание безопасно. В первую очередь сюда относится весьма экономичный способ "термоса", при котором подогретую бетонную смесь укладывают в утепленную опалубку и покрывают сверху слоем теплоизоляционного материала. Благодаря экзотермии цемента поддерживается положительная температура твердеющего бетона в первые 3...5 сут. В качестве вяжущего лучше применять быстротвердеющий портландцемент, который отличается не только высокой скоростью набора прочности, но также и большим тепловыделением.

Бетонную смесь можно подогревать с помощью электрического тока в бункерах, оборудованных электродами. Часто для создания запаса теплоты прибегают к подогреву компонентов бетонной смеси: воды — до 60...80 °С, заполнителей — до 40...60 °С, цемент не подогревают. Температуру подогретой бетонной смеси назначают с учетом температуры окружающего воздуха: чем сильнее мороз, тем теплее должна быть бетонная смесь. Предельная температура подогрева — 35...45 °С; при более высокой температуре вследствие быстро протекающих процессов схватывания смесь преждевременно загустевает.

Подвод теплоты к твердеющему бетону от внешнего источника применяют в тех случаях, когда запаса аккумулированной теплоты не хва-

тает для достижения к установленному сроку заданной прочности бетона. С этой целью прогревают конструкцию с помощью пара, теплого воздуха, электрического тока либо инфракрасных лучей.

Для обогрева бетона паром используют двойную опалубку ("паровую рубашку"). В течение двух суток прогрева паром при температуре 60...80 °С бетон набирает в среднем 60...70 % марочной прочности.

Более эффективно ускорение твердения путем пропускания через бетон электрического тока (электропрогрев). Применяя электропрогрев, следует позаботиться о строгом контроле за ходом процесса и осуществлением мероприятий по охране труда.

В ряде случаев, когда позволяют размеры и конфигурация конструкции, используют индукционный прогрев бетона. Для этого вокруг прогреваемой конструкции укладывают витки изолированного провода. При пропускании по нему электрического тока происходит индукционный разогрев железобетонного элемента. Скорость разогрева составляет 5...10 град/ч, а продолжительность обработки зависит от требуемой прочности бетона.

Обогрев инфракрасными лучами с длиной волны 0,8... 6 мкм применяют в основном для тонких конструкций. Генераторы инфракрасных лучей в виде трубок и стержней нагревают до 600...1000 °С. Поток излучения направляют с помощью рефлекторов на конструкцию, поверхность которой для сокращения теплопотерь покрыта водонепроницаемой пленкой. Пленка должна хорошо пропускать инфракрасные лучи. При бетонировании массивных конструкций инфракрасный прогрев сочетают с другими методами, например методом "термоса".

Введение в состав бетона противоморозных добавок снижает температуру замерзания воды (метод "холодного" бетона). Температура замерзания воды, как известно, снижается по мере увеличения концентрации растворенных в ней солей. При использовании метода "холодного" бетона компоненты бетонной смеси затворяют водным раствором солей. Вода в свежееуложенной бетонной смеси не замерзает даже при низких температурах, вследствие чего продолжают химические реакции гидратации цемента и прочность бетона постепенно нарастает. К наиболее употребительным противоморозным добавкам относятся хлориды натрия и кальция, которые рекомендуется вводить в бетон совместно, а также поташ K_2CO_3 и нитрит натрия $NaNO_2$. Концентрацию добавки в водном растворе берут тем больше, чем ниже температура твердения бетона. Противоморозные добавки, как правило, ускоряют схватывание бетонной смеси, поэтому в ряде случаев их приходится использовать вместе с замедлителями схватывания.

§ 23. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Строительные растворы получают в результате затвердевания смеси вяжущего вещества, мелкого заполнителя и воды. Так как в составе растворов нет крупного заполнителя, то в сущности они представляют

собой мелкозернистые бетоны. Поэтому общие закономерности, характеризующие свойства бетона, в принципе применимы и к растворам. Однако при использовании растворов надо учитывать две особенности. Во-первых, их укладывают тонкими слоями (1...2 см), не применяя специального механического уплотнения. Во-вторых, растворы часто наносят на пористые основания (кирпич, бетон, легкие камни и блоки из пористых горных пород), способные сильно отсасывать воду. В результате этого изменяются свойства раствора, что учитывают при назначении его состава.

В зависимости от назначения растворы бывают кладочные, отделочные и специальные.

Кладочные растворы употребляют для скрепления элементов при кладке фундаментов, стен, столбов, сводов из кирпича или природного камня, а также при монтаже крупноблочных и крупнопанельных элементов.

Отделочные растворы служат для оштукатуривания поверхностей конструкций, устройства выравнивающих слоев, декоративной отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и блоков, фасадов и интерьеров зданий.

Специальные растворы — инъекционные, жаростойкие, кислотостойкие, рентгенозащитные, акустические применяют в случаях, когда к конструкциям предъявляют особые требования.

По средней плотности растворы подразделяют на тяжелые ($\rho_m > 1500 \text{ кг/м}^3$) и легкие ($\rho_m = 1500 \text{ кг/м}^3$ и менее).

По виду вяжущего различают цементные, известковые и смешанные растворы.

Удобоукладываемость — важнейшее свойство строительного раствора. Оно характеризует способность раствора распределяться на основании тонким однородным слоем. Элементы кладки надежно скрепляются раствором в том случае, когда смесь равномерно заполняет все неровности и шероховатости основания. Жесткий, неудобоукладываемый раствор контактирует с основанием лишь частично, что снижает прочность кладки в 1,5...2 раза. При использовании неудобоукладываемых растворов резко ухудшается и сопротивляемость кладки физико-химическому воздействию окружающей среды.

Удобоукладываемость растворных смесей оценивают по показателям подвижности и водоудерживающей способности.

Подвижность строительного раствора определяют в лаборатории или непосредственно на строительной площадке по глубине погружения (h , см) металлического стандартного конуса массой 300 г (рис. 22). Подвижность выбирают с учетом назначения раствора и способа производства. Например, растворы, перекачиваемые по трубопроводам, характеризуются глубиной погружения конуса до 14 см, а растворы для вибрированной бутовой кладки — всего 1...3 см.

Водоудерживающая способность отражает свойство растворной смеси удерживать в своем составе достаточное для твердения вяжущего

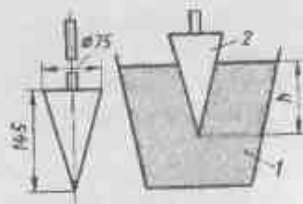


Рис. 22. Определение подвижности строительного раствора 1 по глубине погружения конуса 2

количество воды в условиях интенсивного ее отсоса пористым основанием. Проверка этого свойства предупреждает получение малопрочных растворов в конструкции. Водоудерживающую способность оценивают по количеству воды, отсасываемой из пробы раствора промокатальной бумагой. Раствор с хорошей водоудерживающей способностью при укладке на пористое основание отдает излишнюю воду постепенно, становясь при этом плотнее и прочнее. Растворы с недостаточной водоудерживающей способностью могут расслаиваться. Это выражается в отделении воды и оседании наиболее тяжелого компонента — песка. Расслоение нарушает однородность смеси и, следовательно, снижает прочность раствора. Смеси, расслоившиеся при перевозке, дополнительно перемешивают на месте работ. Необходимая удобоукладываемость достигается при правильном выборе соотношения между составляющими строительного раствора и при надлежащем зерновом составе песка. Пустоты в песке должны быть заполнены цементным тестом, а поверхность песчинок покрыта тонким слоем этого теста.

Для изготовления растворов используют специальный цемент (см. § 7). Поскольку его выпускают пока в небольшом количестве, приходится применять обычные цементы марок 300...400, но для экономии вяжущего вводят в раствор пластифицирующие добавки. Из неорганических пластифицирующих добавок наиболее часто употребляют известь и глину. В смесь вводят 30...200% добавок от массы цемента. Органических пластификаторов (поверхностно-активных веществ) вводят в состав раствора всего 0,03...0,2% от массы цемента.

Таким образом, производство строительного раствора с органическими пластификаторами по сравнению с неорганическими является менее материалоемким. Вместе с тем поверхностно-активные вещества улучшают технические характеристики затвердевших растворов: сокращают водопоглощение и усадку, повышают морозостойкость. К наиболее распространенным органическим пластификаторам относятся гидрофобизирующие вещества: мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот, употребляемые иногда в сочетании с техническими лигносульфонатами (комплексный пластификатор "Флегматор-1"). Применяют и добавки-микропенообразователи: подмыльный целюк, отходы соапстока.

Затвердевшие строительные растворы должны обладать такими свойствами, которые гарантируют их безотказную работу в течение всего

периода эксплуатации конструкции. Из комплекса свойств в соответствии с назначением строительного раствора выделяют главные характеристики, которые определяют его качество. Например, в растворах для каменной кладки и монтажа сборных конструкций такими характеристиками являются прочность на сжатие и морозостойкость.

В отделочных растворах к определяющим условиям относится совместная работа отделочного слоя и основания. Важнейшие требования к таким растворам — прочность сцепления с основанием и малая усадка, предотвращающая возникновение трещин в отделке.

Предел прочности растворов при сжатии определяют на образцах-кубах с длиной ребра 7,07 см или балочках размерами 4X4X16 см.

Контрольные образцы изготавливают в формах без дна, которые устанавливают на водоотсасывающее основание — кирпич. Водопоглощение кирпича должно быть в пределах 10...15% по массе, влажность не более 2%. Условия хранения образцов до момента испытания (28 сут) должны соответствовать условиям будущей эксплуатации раствора.

По пределу прочности при сжатии строительные растворы подразделяют на следующие марки (в кгс/см²): 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150 и 200. Растворы марок 4 и 10 изготавливают преимущественно на извести или местных вяжущих, например известково-шлаковом или известково-пуццолановом.

Морозостойкость растворов зависит от тех же факторов, что и морозостойкость бетонов, т.е. от свойств исходных материалов, их соотношения и особенностей сформировавшейся при твердении структуры раствора. Нормируемые марки по морозостойкости находятся в широких пределах — от F10 до F300.

Вид и состав кладочных растворов зависят от расчетных напряжений и условий эксплуатации кладки. Кладку надземных конструкций, работающих при небольшом напряжении, рекомендуется выполнять на растворах, содержащих дешевые местные вяжущие вещества: известково-шлаковое, известково-пуццолановое, известь. В растворах для кладки фундаментов при агрессивных сульфатных водах применяют сульфатостойкие цементы, для монтажа крупноблочных и крупнопанельных стен — портландцемент, шлакопортландцемент, а также портландцементы с органическими добавками. Подвижность растворной смеси (глубину погружения конуса, см) выбирают с учетом назначения раствора.

Монтаж стен и расшивка швов в стенах из крупных панелей и блоков	5...7
Кладка из обыкновенного кирпича, бетонных камней и камней из легких горных пород	9...13
Кладка из пустотелого кирпича или керамических камней	7...8
Кладка из бутовых камней обычная	4...6
То же, вибрированная	1...3
Заливка пустот в бутовой кладке	13...14

При кладке из камней правильной формы основное значение имеет не марка скрепляющего раствора, а прочность камней. Поэтому подбор состава строительного раствора не требует такой точности, как при определении состава бетона. Составы растворов назначают, используя готовые таблицы, и корректируют их по результатам испытания в строительной лаборатории. Примерные составы растворов приведены в табл. 23.

Таблица 23. Рекомендуемые составы растворов
(цемент: известковое тесто: песок) в частях по объему

Марка вяжущего	Марки растворов по прочности на сжатие			
	25	50	75	100
<i>Цементно-известковые растворы для надземных конструкций</i>				
200	1 : 0,8 : 7	1 : 0,3 : 4	1 : 0,1 : 2,5	—
300	1 : 1,4 : 10,5	1 : 0,6 : 6	1 : 0,3 : 4	1 : 0,2 : 3,5
400	—	1 : 0,9 : 8	1 : 0,5 : 5,5	1 : 0,4 : 4,5
<i>Цементные растворы для подземных конструкций</i>				
200	—	1 : 0 : 4	1 : 0 : 2,5	—
300	—	1 : 0 : 6	1 : 0 : 4	1 : 0 : 3
400	—	—	1 : 0 : 5,5	1 : 0 : 4,5

При использовании органических пластификаторов указанные в таблице составы корректируют в сторону уменьшения расхода вяжущего, т.е. они будут более экономичны. В то же время в растворе любого состава должно содержаться такое количество вяжущего, которое обеспечивает получение удобоукладываемой смеси и затвердевшего раствора необходимой плотности, прочности и долговечности. Так, в цементно-известковых растворах для надземных конструкций минимальный расход вяжущего на 1 м³ песка установлен 75 кг, а в растворах для подземных конструкций — 100 кг.

При кладке растворов зимой скорость твердения замедляется. Например, в возрасте 28 сут прочность растворов, твердеющих при температуре 1 °С, вдвое меньше, чем при температуре твердения 20 °С. Поэтому зимой для каменной кладки и замоноличивания швов в сборных элементах используют раствор с маркой на одну-две ступени выше, чем летом.

В необходимых случаях при возведении каменных, крупноблочных и крупнопанельных конструкций в зимних условиях применяют растворы марок 50 и выше с противоморозными добавками (поташем, нитритом натрия, нитратом кальция с мочевиной). Температура кладочного раствора в момент укладки должна быть не менее 15 °С при температуре

наружного воздуха —11...—20 °С и не менее 20 °С при температуре воздуха ниже —20 °С. Раствор для монтажных швов крупнопанельных и крупноблочных стен в момент его разравнивания должен быть на 10 °С теплее, чем для обычной кладки.

Отделочные растворы подразделяют на штукатурные и декоративные. Применение этих растворов в построечных условиях (т.е. оштукатуривание мокрым способом) допускается в виде исключения, когда обоснована невозможность использования промышленных методов отделки поверхностей.

К штукатурным относят известковые, цементные, цементно-известковые и известково-гипсовые растворы.

Известковые растворы хорошо сцепляются с основанием и относительно мало изменяются в объеме при колебаниях температуры и влажности окружающего воздуха. Эти растворы рекомендуется применять для оштукатуривания внутренних стен, перегородок, перекрытий в помещениях с относительной влажностью воздуха меньше 60 %, а также наружных стен, не подвергающихся систематическому увлажнению. Известковые растворы медленно твердеют и долго просыхают.

Цементно-известковые и цементные растворы употребляют для получения прочных, быстротвердеющих и водостойких штукатурок. Их применяют для оштукатуривания цоколей, карнизов, парапетов, наружных стен и других конструкций, систематически увлажняющихся при эксплуатации.

Известково-гипсовыми растворами оштукатуривают внутренние деревянные и каменные стены, а также наружные стены в районах с устойчивым сухим климатом. Введение гипса существенно увеличивает скорость твердения и прочность сцепления известкового раствора с основанием, особенно деревянным.

Максимально допустимый размер зерен песка для подготовительного и основного слоев штукатурки составляет 2,5 мм, а для отделочного слоя — 1,2 мм. Перед употреблением в дело штукатурные растворы обязательно пропекают через сита, удаляя посторонние включения и комья непромешанного раствора.

Декоративные растворы и составы, как это следует из их названия, предназначены для придания определенных архитектурно-художественных качеств фасадам и интерьерам зданий. Чаще всего декоративные цветные растворы используют при заводской отделке лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных блоков. В зависимости от вида отделки применяют декоративные растворы (известково-песчаные, цементно-песчаные), а также декоративные составы (полимерцементные, цементно-перхлоранилиновые).

Кроме прочности на сжатие и необходимого сцепления с основанием декоративные растворы должны в течение всего периода эксплуатации сохранять первоначальный цвет, текстуру и другие качества независимо от воздействия окружающей среды. К таким растворам предъявляют дополнительные требования по морозо-, свето- и водостойкости.

Стабильность этих показателей во времени зависит в основном от свойств использованных при изготовлении растворов материалов. К влажущим для декоративных растворов и составов, наносимых на наружные поверхности зданий, относятся белый и цветные портландцементы, полимерцементы. Для отделки интерьеров чаще применяют известь, гипс, гипсополимерцемент, цементно-перхлоранилиновое вяжущее.

Красящие добавки — это свето-, щелоче- и кислотостойкие пигменты природного или искусственного происхождения, например оксид хрома, железный сурик, графит. Из белых пигментов наиболее употребительны известь, мраморная мука, белый портландцемент.

Заполнителями декоративных растворов служат промытые кварцевые пески либо каменная крошка, получаемая при дроблении горных пород. Используют также керамическую, стеклянную, угольную, разноцветную пластмассовую крошку с размером частиц 2...5 мм, приклеиваемую на полимерцементном составе (внешняя отделка) или водозмуслионной краске ВА-27 (отделка интерьеров). В необходимых случаях для получения искрищихся поверхностей в состав раствора вводят слюду или дробленое стекло.

Строительные растворы изготовляют, как правило, централизованно на автоматизированных растворных заводах или узлах и оттуда доставляют на объекты в виде готовых пластичных смесей. При значительном удалении строительного объекта от завода рекомендуется использовать сухие растворные смеси, которые затворяют водой на месте производства работ. Сухие смеси должны иметь влажность не более 1 % по массе; их поставляют в упаковке, исключающей возможность увлажнения.

§ 24. КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Правила контроля прочности конструктивных бетонов (тяжелого, легкого, ячеистого, плотного силикатного) в сборных и монолитных изделиях и конструкциях установлены ГОСТ 18105-86 (СТ СЭВ 2046-79). Контролируемым показателем обычно служит прочность на сжатие, в некоторых случаях определяют прочность на осевое растяжение и на растяжение при изгибе.

Предусмотрено проводить статистический контроль и приемку бетона по прочности с учетом однородности. Контролируют нормируемую прочность, т.е. заданное в нормативно-технической или проектной документации значение прочности бетона в изделиях и конструкциях. Различают следующие виды нормируемой прочности: отпускную прочность бетона в сборных предварительно напряженных и обычных (изготавливаемых без предварительного напряжения) конструкциях, если отпускная прочность выше передаточной; передаточную прочность бетона в предварительно напряженных конструкциях; прочность бетона в промежуточном возрасте, например при снятии опалубки, устанавливаемую проектной документацией для монолитных конструкций; проект-

ную прочность бетона в сборных и монолитных конструкциях, которую необходимо обеспечить в проектном возрасте.

Нормируемую прочность каждого вида определяют по данным контроля предыдущих партий бетона в заданной последовательности. Вначале находят прочность бетона в каждой из партий, изготовленных в течение установленного стандартом периода, называемого анализируемым. Затем вычисляют характеристики однородности прочности за анализируемый период. По этим характеристикам определяют требуемую прочность бетона для последующего, т.е. контролируемого, периода. И наконец, оценивают прочность бетона в данной контролируемой партии, сравнивают ее с требуемой и принимают решение о приемке этой партии.

Прочность бетона в партии определяют в основном по результатам испытания стандартных образцов, но в ряде случаев, например при контроле монолитных конструкций, пользуются неразрушающими методами — ультразвуковым (ГОСТ 17624-86) или методом отрыва со скалыванием (ГОСТ 21243-75). Основной характеристикой однородности, используемой для определения требуемой прочности, служит средний коэффициент вариации прочности V_n по всем партиям бетона. Порядок выполнения операций на каждом этапе следующий.

Определение прочности бетона в партии. В состав партии включают бетон сборных или монолитных конструкций, формируемых на одном технологическом комплексе из бетонной смеси одного номинального состава по одной технологии в течение определенного промежутка времени — от одной смены до одной недели.

От каждой партии бетона (за исключением ячеистого) отбирают из произвольно выбранных замесов не менее двух проб бетонной смеси. На заводах, занятых изготовлением сборных конструкций, отбирают одну пробу в смену, на заводах товарного бетона и строительных площадках — одну пробу в сутки. В ячеистом бетоне пробой служат образцы, выбуриваемые или выщипываемые из конструкций (блоков), причем число серий образцов должно быть не менее двух.

Режим твердения образцов строго нормируют. Вплоть до определения отпускной или передаточной прочности они твердеют в тех же условиях, что и сборные конструкции. В дальнейшем образцы, предназначенные для испытания в проектном возрасте, твердеют в нормальных условиях по ГОСТ 10180-78*, т.е. при температуре воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности не менее 95%. В проектном возрасте бетон должен набрать прочность, соответствующую его классу или марке.

Контрольные образцы бетона, используемого при возведении монолитных конструкций, твердеют в нормальных условиях на заводе, изготовляющем бетонную смесь. В случае изготовления бетона непосредственно на строительной площадке образцы твердеют в тех же условиях, что и конструкции.

По результатам испытания серий образцов вычисляют единичные значения прочности бетона. За единичное значение, учитываемое при

статистической обработке, принимают среднюю прочность бетона в одной серии, определенную по ГОСТ 10180-78*. Если используют неразрушающие методы, единичным значением служит средняя прочность бетона в конструкции или средняя прочность контролируемого ее участка.

Исходя из единичных значений прочности вычисляют прочность бетона в партии R_m , МПа, как среднearифметическую величину.

Определение однородности бетона по прочности. Однородность характеризуют коэффициентом вариации прочности в партии бетона V_m , %. Для вычисления V_m необходимо, чтобы число единичных значений прочности бетона за анализируемый период (от одной недели до 2 мес) было не меньше 30.

Для всех партий бетона, проконтролированных в течение анализируемого периода, определяют средний коэффициент вариации прочности V_n , %. Если бетонные смеси или сборные конструкции выпускают нерегулярно, число единичных значений прочности может оказаться недостаточным для статистической обработки. В этом случае принимают V_n равным коэффициенту вариации бетона другого состава при условии, что для изготовления бетона использованы одни и те же материалы и одинаковая технология, а прочность его отличается по классу или марке не более чем на две ступени.

Определение требуемой прочности бетона. Рассчитанное значение V_n характеризует уровень стабильности технологии, достигнутой в предшествующем (анализируемом) периоде. Чем ниже значения среднего коэффициента вариации, тем меньше и колебания прочности бетона. С уменьшением V_n возрастает вероятность получения бетона, фактическая прочность которого окажется не ниже минимально допустимой для данной конструкции. Таким образом коэффициент V_n можно в известном смысле рассматривать как один из показателей надежности технологии бетона. Значения этого коэффициента используют для назначения требуемой прочности бетона в контролируемом (предстоящем) периоде, длительность которого принимают в пределах от одной недели до 1 мес.

Требуемая прочность R_T — это минимально допустимая прочность бетона в партии, устанавливаемая лабораторией в соответствии с достигнутой однородностью. Требуемую прочность классифицируют по видам так же, как и нормируемую, т.е. различают отпускную, передаточную, а также прочность в промежуточном или проектном возрастах. Значения R_T , МПа, вычисляют по формуле

$$R_T = K_T B_{\text{норм}}$$

где $B_{\text{норм}}$ — нормируемое значение прочности бетона данного класса, МПа; K_T — безразмерный коэффициент требуемой прочности, зависящий от среднего коэффициента вариации V_n по всем партиям за анализируемый период (табл. 24).

Принемка бетона по прочности. Партию бетона принимают при условии, что фактическая прочность R_m не ниже требуемой R_T , т.е. $R_m \geq R_T$. Основная характеристика при приемке сборных конструкций — отпуск-

Таблица 24. Коэффициенты требуемой прочности бетона

V_n , %	Значения K_T			
	для бетонов всех видов (кроме плотного силикатного, ячеистого) и конструкций (кроме массивных гидротехнических)	для плотного силикатного бетона	для автоклавного ячеистого бетона	для массивных гидротехнических конструкций
6 и менее	1,07	1,06	1,08	1,09
7	1,08	1,07	1,09	1,10
8	1,09	1,08	1,10	1,11
9	1,11	1,09	1,12	1,13
10	1,14	1,12	1,13	1,14
11	1,18	1,14	1,14	1,16
12	1,23	1,18	1,17	1,18
13	1,28	1,22	1,22	1,20
14	1,33	1,27	1,26	1,22
15	1,38	1,33	1,32	1,23
16	1,43	1,39	1,37	1,25
17		1,46	1,43	1,28
18	Область		1,50	1,32
19		недопустимых значений	1,57	1,36
20				1,39

ная и передаточная прочность, а монолитных — прочность бетона в проектном возрасте. Кроме того, периодически проверяют прочность бетона сборных конструкций в проектном возрасте. Для этой цели изготавливают образцы не менее чем из двух проб бетонной смеси, отбираемых от одной партии в неделю при классе прочности бетона до В30, и не менее чем из четырех проб, отбираемых от двух партий в неделю при классе бетона В35 и выше.

Определение среднего уровня прочности. Найденную требуемую прочность используют для назначения среднего уровня прочности бетона. Средний уровень прочности — это среднее значение прочности, устанавливаемое лабораторией на контролируемый период в соответствии с достигнутой однородностью бетона.

Согласно ГОСТ 27006-86 состав бетона подбирают исходя именно из среднего уровня прочности R_y , МПа, определяемого по формуле

$$R_y = R_T K_{\text{м.п}}$$

где $K_{\text{м.п}}$ — безразмерный коэффициент, зависящий от среднего для анализируемого периода коэффициента вариации V_n .

Значения $K_{м.п.}$ принимают по следующим данным:

$U_{н.г.}, \%$	6 и менее	от 6 до 7	от 7 до 8	от 8 до 10	от 10 до 12	от 12 до 14	от 14 и более
$K_{м.п.}$	1,03	1,04	1,05	1,07	1,09	1,12	1,15

Удовлетворительная технология характеризуется коэффициентом вариации, равным 13,5 % для тяжелого и легкого бетонов, 14 % — для плотного силикатного бетона и 17 % — для ячеистого. Поэтому значения $K_{м.п.}$ принимают для тяжелого и легкого бетонов не более 1,1, а для плотного силикатного — не более 1,13.

Таким образом, контроль прочности бетона с учетом однородности обеспечивает принятые при проектировании конструкций расчетные и нормативные сопротивления бетона с минимальным расходом цемента.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные свойства бетонной смеси.
2. Как определяют подвижность смеси?
3. Какие факторы влияют на удобоукладываемость бетонной смеси?
4. В чем заключаются особенности состава смесей, предназначенных для перекачивания бетононасосами?
5. Укажите, как подразделяют бетоны по плотности.
6. В чем состоит физический смысл основного закона прочности бетона?
7. Почему не следует вводить в бетонную смесь излишнюю воду?
8. Как влияют технологические операции дозирования компонентов и приготовления смеси на качество бетона?
9. Какие факторы влияют на прочность бетона в период его твердения?
10. Укажите особенности приготовления и укладки бетона в сухую жаркую погоду.
11. Как обеспечить твердение бетона при отрицательной температуре воздуха?
12. Что такое марка бетона? Укажите марки и классы бетона по прочности на сжатие.
13. Расскажите об основных принципах определения состава бетона.
14. Почему необходимо подбирать состав бетона с минимальным расходом цемента?
15. Укажите особенности состава и свойства гидротехнического бетона.
16. Что такое легкие бетоны, каковы их преимущества по сравнению с тяжелыми? Какие конструкции лучше всего изготавливать из легкого бетона?
17. Что такое газобетон и пенобетон? Какова их структура? Где их применяют?
18. Охарактеризуйте особенности состава и свойства дорожного бетона.
19. Как получают жаростойкие бетоны?
20. Укажите принципиальный состав и перечислите свойства химически стойких бетонов. Какие связующие применяют для их изготовления?
21. В чем заключаются особенности применения строительного раствора?
22. Как классифицируют строительные растворы по назначению и средней плотности?
23. Какими показателями оценивают удобоукладываемость строительных растворов?
24. Какие пластифицирующие добавки необходимы в строительном растворе и для какой цели?
25. Охарактеризуйте основные показатели свойств затвердевших растворов для каменной кладки.
26. Какие отделочные растворы применяют? Расскажите о штукатурных и декоративных растворах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бетонные работы — одни из основных в строительстве. Прочность и долговечность конструкций зависят от качества приготовления бетонных смесей и строительных растворов. Машинистам бетоно-растворосмесителей и бетоно-растворонасосных установок необходимо хорошо знать свойства сырьевых компонентов, их влияние на качество бетонных смесей. Будущие рабочие должны быть также знакомы с основными требованиями к бетону и строительному раствору, иметь представление о производственных факторах, влияющих на прочность и долговечность этих материалов. Знания, полученные в результате изучения приведенных в книге сведений, помогут учащимся овладеть профессиональными навыками и эффективно применять их в трудовой деятельности.

Для повышения эффективности бетонных работ необходимо шире использовать в составе бетонов и строительных растворов местные материалы, попутные продукты и отходы других отраслей народного хозяйства. Следует помнить, что применение в бетонах металлургических шлаков, шлаковидных зол ТЭС и тому подобных материалов не только дает большую экономию средств, но и имеет важное экологическое значение, так как уменьшает загрязненность окружающей среды, помогает высвободить ранее занятые шлаковыми отвалами земли и использовать их по прямому назначению.

Цемент является наиболее дорогостоящей частью бетона, поэтому надо бережно относиться к его расходованию. Экономичный бетон получают тогда, когда соблюдают рекомендуемое нормами соотношение между марками цемента и бетона. Важное значение имеет и качество заполнителей, на которые приходится подавляющая часть объема бетона. При надлежащем зерновом составе обеспечивается минимальная пустотность мелкого и крупного заполнителей, тем самым потребуются и наименьший расход цемента для приготовления бетонной смеси заданного качества. Большое внимание надо уделять чистоте заполнителей, поскольку глина, пыль и другие вредные примеси в них снижают прочность и стойкость затвердевшего бетона.

Дозировку воды назначают исходя из условия получения бетонных смесей и раствора заданной удобоукладываемости. Следует всегда помнить, что излишнее количество воды приводит к формированию в затвердевшем бетоне большого объема пор, которые снижают его прочность и долговечность. Особенно внимательно надо относиться к расходованию различных добавок. Неправильная их дозировка приводит к нежелательным последствиям: изменяются сроки схватывания и скорость твердения бетона, в ряде случаев может развиваться коррозия стальной арматуры.

Тщательное выполнение технических рекомендаций, содержащихся в стандартах и других нормативных документах, — залог высокого качества получаемой продукции. Рабочие, занятые приготовлением и транспортированием бетонных смесей и раствора, должны постоянно совершенствовать свои теоретические знания и практические навыки, изучать нормативную документацию, специальную и периодическую литературу, например журналы "Бетон и железобетон", "Строительные материалы".

Марки по средней плотности и классы по прочности на сжатие конструкционного легкого, поризованного и ячеистого бетонов

Марки бетона по средней плотности	Классы по прочности на сжатие для		
	легкого бетона на пористых заполнителях	поризованного легкого бетона	ячеистого бетона
D500	—	—	B1...B1,5
D600	—	—	B1...B2,5
D700	—	—	B1...B3,5
D800, D900	B2,5...B7,5	B2,5...B3,5	B2,5...B7,5
D1000, D1100	B2,5...B12,5	B3,5...B5	B5...B15
D1200, D1300	B2,5...B15	B3,5...B7,5	B10...B15
D1400, D1500	B3,5...B30	B3,5...B7,5	—
D1600, D1700	B5...B35	—	—
D1800, D1900	B10...B40	—	—
D2000	B20...B40	—	—

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Александровский А.В., Попов К.Н. Материалы для декоративных, штукатурных, плиточных и мозаичных работ. М., 1986.
- Виноградов Ю.Г., Орлов К.С., Попова Л.А. Материаловедение для слесарей-сантехников, слесарей-монтажников, маляров строительных машин. М., 1983.
- Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М., 1986.
- Королев К.М. Передающие бетоносмесители и бетононасосные установки. М., 1986.
- Королев К.М. Справочник молодого машиниста бетоно-растворосмесителей и бетоно-растворонасосных установок. М., 1982.
- Марцинич А.Б., Шубенкин П.Ф. Определение свойств и качества строительных материалов в полевых условиях. Справочное пособие. М., 1983.
- Попов К.Н. Полимерные и полимерцементные бетоны, растворы и мастики. М., 1987.
- Попов К.Н., Шмурнов И.К. Физико-механические испытания строительных материалов. М., 1984.
- Рекомендации по применению золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций в тяжелых бетонах и строительных растворах. М., 1977.
- Руководство по изготовлению и применению химически стойких полимеррастворов, полимербетонов и полимерцементов. М., 1986.
- Руководство по производству бетонных работ. М., 1975.
- Руководство по производству монолитных железобетонных работ с применением смесей на пористых заполнителях. М., 1978.
- Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками. М., 1978.
- Слесарев Ю.М. Приготовление бетонной смеси и строительного раствора. М., 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Основные свойства строительных материалов	8
§ 1. Общие сведения	8
§ 2. Физические свойства	10
§ 3. Механические свойства	17
Глава II. Минеральные вяжущие вещества	23
§ 4. Общие сведения	23
§ 5. Портландцемент	25
§ 6. Специальные виды портландцемента	38
§ 7. Цементы с минеральными добавками	41
§ 8. Приемка, транспортирование и хранение цементов	45
§ 9. Строительная известь, гипсовые вяжущие и жидкое стекло	46
Глава III. Вода для затворения. Добавки к бетону	51
§ 10. Вода для затворения бетона	51
§ 11. Добавки к бетону и строительному раствору	53
Глава IV. Заполнители для бетона и строительного раствора	58
§ 12. Общие сведения	58
§ 13. Мелкий заполнитель	61
§ 14. Крупные заполнители	64
Глава V. Бетонные смеси, бетон и раствор	69
§ 15. Бетонные смеси	69
§ 16. Классификация бетона	75
§ 17. Структура и свойства тяжелого бетона	77
§ 18. Определение состава бетона	86
§ 19. Производственные факторы качества бетона	88
§ 20. Леглые бетоны	90
§ 21. Жаростойкий и химически стойкий бетон	91
§ 22. Применение бетона в монолитных конструкциях	93
§ 23. Строительные растворы	96
§ 24. Контроль прочности бетона	102
Заключение	107
Приложение	109
Список рекомендуемой литературы	110

Учебное издание

ЭДУАРД ГРИГОРЬЕВИЧ МУРАДОВ

**МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
БЕТОННОЙ СМЕСИ
И СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА**

Зав. редакцией *Г.Н. Бурмистров*
Редактор *А.Л. Алексеев*
Младший редактор *О.М. Тучина*
Художественный редактор *Т.В. Панина*
Технический редактор *Е.В. Цыганок*
Корректор *Л.А. Носова*
Оператор *Г.А. Шестикова*

ИБ № 6553

Изд. № ИИД-402. Слово в набор 04.02.87. Подп. в печать 15.04.87. Формат 60x88¹/16.
Бум. офс. № 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Объем 6,86 усл.-печ. л.
7,23 усл. кр.-отт. 7,62 уч.-изд. л. Тираж 35 000 экз. Зак. № 1365. Цена 20 коп.
Издательство "Высшая школа", 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.
Набрано на наборно-литографических машинах издательства.

Отпечатано в Московской типографии № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., д. 7.

Проект – **ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП**

Над оцифровкой данной книги работали:

Ружинский С.И. ryginski@aport.ru

Ружинский Ю.И.

Раенко А.С.

август 2005, г. Харьков, Украина

г.Харьков, ул. Чкалова 1

МП «Городок»

Популяризация применения химических добавок и оригинальных технологий в строительной индустрии.

ryginski@aport.ru

+38(057) 315-32-63

Здесь может быть Ваша реклама!

Закажи книгу по бетонovedению или строительству на оцифровку и размести в ней свою рекламу.

Дополнительная информация: ryginski@aport.ru