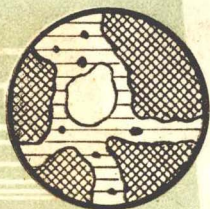
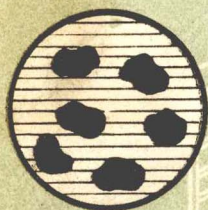




П.С. Костяев

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

для арматурщиков—
бетонщиков
и арматурщиков—
электросварщиков
арматурных сеток
и каркасов



П. С. Костяев

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

**для арматурщиков-
бетонщиков**

**и арматурщиков-
электросварщиков
арматурных сеток
и каркасов.**

**Издание третье,
переработанное и дополненное**

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



**Москва
Высшая школа, 1980**

ББК 38.3
К72
УДК 691

Костяев П. С.

К72 **Материаловедение для арматурщиков-бетонщиков и арматурщиков-электросварщиков арматурных сеток и каркасов.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. школа, 1980.— 208 с., ил.— (Профтехобразование. Строит. материалы).**

25 к

В книге приведены сведения о металлах и их сплавах, арматурной стали и изделиях, применяемых в железобетонных конструкциях. Рассмотрены вяжущие материалы (портландцементы, известь, гипс) и заполнители для бетона. Описаны тяжелые, легкие и облегченные бетоны, тепло- и гидроизоляционные материалы.

Учебник предназначен для подготовки арматурщиков бетонщиков и арматурщиков электросварщиков в средних профтехучилищах.

К $\frac{30209-271}{052(01)-80}$ 26—80

3203000000

6СЗ(075)
ББК 38.3

© Издательство «Высшая школа», 1976
© Издательство «Высшая школа», 1980, с изменениями

ВВЕДЕНИЕ

В Программе КПСС записано, что огромные масштабы капитального строительства требуют быстрого развития и технического совершенствования строительной индустрии и промышленности строительных материалов до уровня, обеспечивающего потребности народного хозяйства, максимального сокращения сроков, снижения стоимости и улучшения качества строительства путем его последовательной индустриализации, быстреего завершения перехода на возведение полносборных зданий и сооружений по типовым проектам из крупноразмерных конструкций и элементов промышленного производства.

На ближайшие годы основными материалами индустриального строительства останутся бетон и железобетон.

Бетон представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей. В качестве вяжущих веществ в основном применяют цементы. Цемент относится к важнейшим видам продукции, обуславливающим экономическое развитие страны.

Промышленность выпускает разнообразные виды и марки цемента, основным из которых является портландцемент. На долю портландцемента и его разновидностей — основных вяжущих для производства бетона — приходится свыше 90% от общего объема выпускаемых цементов.

Выпуск цемента в десятой пятилетке неуклонно возрастает. Ускоряются темпы развития производства цемента сухим способом на основе новейшей технологии, увеличивается производство высокомарочных, быстротвердеющих и декоративных цементов. Промышленность приступила к выпуску цементов высшей категории. Это в свою очередь позволяет повышать качество бетонных

изделий, а также бетонных конструкций, выполняемых из монолитного и сборно-монолитного бетона.

Бетон, как и все каменные материалы, хорошо воспринимает сжимающие усилия и плохо — растягивающие

Конструкции, подвергаемые растяжению или изгибу, изготовляют из железобетона. Железобетон представляет собой материал, состоящий из бетона и расположенной в нем стальной арматуры. Арматура воспринимает растягивающие усилия, возникающие в конструкции под нагрузкой, бетон — сжимающие

Разновидностью железобетона является напряженно-армированный железобетон, применение которого снижает массу конструкции, расход стальной арматуры и повышает эксплуатационные свойства конструкции.

В качестве арматуры для железобетона применяют горячекатаную и холодноотянутую, углеродистую и легированную сталь:

Ежегодно увеличивается доля легированных сталей, используемых для изготовления арматуры железобетонных конструкций. Применение легированных сталей высокой прочности в напряженно-армированных конструкциях ведет к снижению расхода арматуры и массы конструкции.

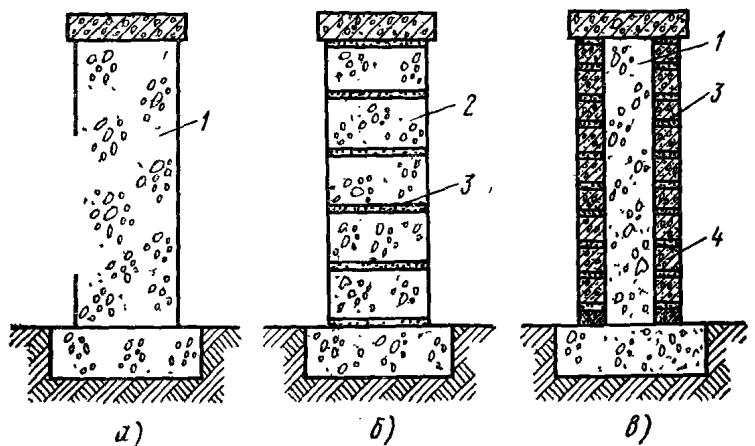


Рис. 1 Опоры моста:

а — монолитная, б — сборная, в — сборно-монолитная; 1 — монолитный бетон, 2 — блоки из бетона, 3 — раствор омоноличивания шва, 4 — блоки из железобетона

Арматурные стержни сваривают между собой, образуя пространственные каркасы и плоские сетки. Для этого применяют в основном электросварку.

По способу возведения сооружений различают монолитные, сборные и сборно-монолитные бетонные и железобетонные конструкции (рис. 1).

Монолитные бетонные и железобетонные конструкции изготовляют на месте путем укладки бетонной смеси в опалубку, где она, затвердевая, превращается в бетон. Опалубка представляет собой форму, выполненную из древесины, металла или пластической массы, имеющую очертание будущей конструкции.

Несмотря на постоянно увеличивающийся объем строительства из сборных элементов, больше половины укладываемого в строительстве бетона приходится на монолитные сооружения.

Из монолитного бетона строят плотины гидроэлектростанций, опоры мостов, покрытия шоссе́йных дорог, горные тоннели, фундаменты под промышленные и жилые здания, элеваторы, атомные реакторы, успешно возводят многоэтажные жилые и гражданские здания. Многие уникальные сооружения возведены из монолитного бетона. Так, одно из высочайших сооружений в мире — Останкинская телебашня в Москве до высоты 384 м возведена из монолитного железобетона.

Сборные бетонные и железобетонные конструкции собирают на месте строительства из элементов заводского изготовления (рис. 2). Детали между собой соеди-

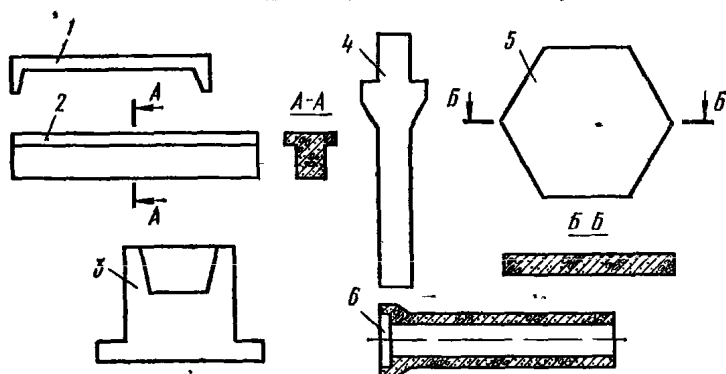


Рис. 2. Сборные бетонные и железобетонные изделия и детали:

1 — плита перекрытия, 2 — прогон, 3 — фундаментный блок, 4 — колонна, 5 — плита дорожного и аэродромного покрытия, 6 — напорная труба

няют (стыкуют) с помощью сварки, бетонной или растворной смеси, а также синтетических клеев. Процесс соединения сборных деталей в единую конструкцию называют *омоноличиванием*.

Возведение зданий и сооружений из сборных железобетонных и бетонных конструкций обеспечивает высокую степень индустриализации строительства. Из сборных бетонных и железобетонных элементов возводят жилые дома, промышленные предприятия, школы, пролетные строения мостов, столбы линий связи и электропередач, тоннели метрополитена, трубопроводы, автодорожные покрытия.

Сборно-монолитные конструкции состоят из сборных элементов и монолитных частей сооружений. Примером такого сооружения служит сборно-монолитная опора моста.

К бетону различных конструкций и отдельных их элементов предъявляют различные требования. Бетон каркаса многоэтажных зданий должен обладать высокой прочностью. Бетон для фундаментов, кроме того, должен быть стоек к воздействию грунтовых вод, содержащих вредные для бетона примеси. В стеновых конструкциях необходимо использовать бетон с повышенными теплозащитными свойствами, в тоннелях и резервуарах — повышенной водонепроницаемости. К бетону плотин гидроэлектростанций и опор мостов кроме прочности предъявляют требование не разрушаться при попеременном замораживании и оттаивании (быть морозостойким). Бетон в дымовых трубах или печах не должен разрушаться от действия высоких температур. Бетон в атомных реакторах предназначен для поглощения радиоактивных излучений.

В результате работ советских ученых, инженеров, рабочих в строительстве внедрено много нового. В качестве примеров можно привести использование высокопрочной арматурной проволоки, новых марок арматурных сталей с повышенным пределом текучести и прочности и арматуры периодического профиля; разработку и внедрение новых методов сварки арматуры и новых видов арматурных изделий (сварные сетки и каркасы, армирование проволочными прядями и канатами); непрерывный рост удельного веса наиболее экономичных предварительно напряженных конструкций в объеме производимого железобетона; применение высокопроч-

ных облегченных и легких бетонов, а также бетонов, стойких к воздействию внешней среды.

На современном уровне развития строительства арматурщики-электросварщики и арматурщики-бетонщики могут квалифицированно выполнять порученную им работу, только хорошо зная свойства применяемых материалов. В первую очередь рабочим этих профессий необходимо знать виды, назначение и свойства арматурных сталей; материалы, применяемые при сварке арматуры; виды, основные свойства бетонных смесей, бетона и их составляющих; гидроизоляционные и теплоизоляционные материалы, применяемые при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций; виды сборных бетонных и железобетонных конструкций.

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем совершенствовании процесса обучения и воспитания учащихся системы профессионально-технического образования» (1977 г.) подчеркивается, что обеспечение народного хозяйства страны молодыми кадрами является задачей огромной политической и народнохозяйственной важности. Настоящий учебник для подготовки арматурщиков-бетонщиков и арматурщиков-электросварщиков арматурных сеток и каркасов в системе профессионально-технического образования предназначен для решения части этой задачи.

Глава I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. Строение твердого тела

В зависимости от давления и температуры вещество может находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях¹. Строительные материалы в процессе строительства находятся в твердом или реже в жидком состоянии, а во время эксплуатации — в твердом состоянии. Поэтому свойства строительных материалов в большинстве случаев изучают в их твердом состоянии. Оно характеризуется фиксированным положением мельчайших составляющих (атомов, молекул, ионов) элемента или вещества в пространстве. Расстояние между двумя соседними атомами в твердом теле остается неизменным.

По взаимному расположению атомов твердые тела подразделяются на кристаллические и аморфные.

Кристаллическими называются тела, в которых атомы или молекулы расположены в правильном геометрическом порядке. Минимальное количество атомов, которое при многократном повторении позволяет получить в пространстве подобную кристаллическую решетку, называется *элементарной кристаллической ячейкой* (рис. 3).

Существует шесть систем простых кристаллических решеток, наиболее симметричной из которых является кубическая (рис. 3, а). Атомы металлов, стремясь занять места, наиболее близкие одно к другому, образуют сложные кристаллические решетки. Чаще всего встре-

¹ При очень высоких температурах известно также плазменное, а при очень больших давлениях — особо плотное состояние вещества.

чаются в металлах типы решеток, приведенные на рис. 3, б, в, г.

Каждому элементу и веществу соответствует определенная кристаллическая решетка со своими параметрами, т. е. расстояниями между центрами соседних атомов и углами кристаллической решетки. Так, железо и

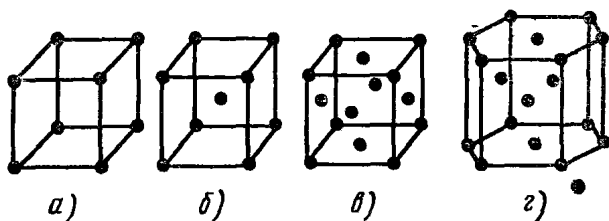


Рис. 3 Кристаллические решетки:

а — кубическая, б — кубическая объемно-центрированная, в — кубическая гранецентрированная, г — гексагональная плотноупакованная

алюминий имеют сложную кубическую кристаллическую решетку. Некоторые элементы и вещества могут при изменении температуры изменять кристаллическую решетку, например железо. Существование одного элемента в нескольких кристаллических формах называется *аллотропией*, а существование соединений в нескольких кристаллических формах — *полиморфизмом*.

Аморфными называются тела, в которых атомы расположены не в геометрической последовательности, беспорядочно. Такие строительные материалы, как битум, стекло и многие пластические массы, относятся к аморфным телам.

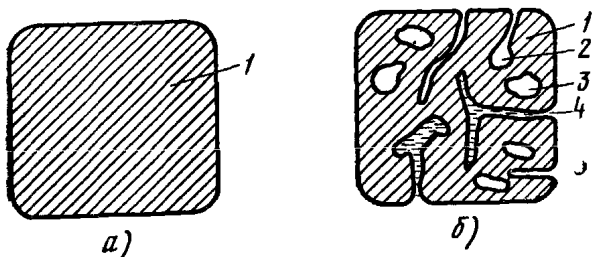


Рис. 4 Схема твердого тела

а — абсолютно плотного, б — пористого, 1 — твердое вещество, 2 — открытая пора, заполненная воздухом, 3 — замкнутая пора, заполненная воздухом или газом, 4 — открытая пора, заполненная жидкостью

Твердые тела вне зависимости от их строения — кристаллического или аморфного — могут иметь абсолютно плотную или пористую структуру (рис. 4).

§ 2. Физические свойства материалов

К физическим свойствам относят характеристики физического состояния материалов (плотность, показатели плотности и пористости, влажность) и отношение материала к различным физическим процессам (поглощению воды при погружении в нее материала, поглощению влаги из воздуха, фильтрации воды, передачи тепла).

Плотность материала характеризуется отношением его массы к объему. Плотность ρ_0 , кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho_0 = m/V_m,$$

где m — масса материала, кг; V_m — объем, занимаемый этим материалом, м³.

Плотность одного и того же пористого материала увеличивается с повышением влажности материала. Нормативные документы устанавливают для каждого материала нормированную влажность, при которой определяют плотность материала.

Во время определения плотности бетона в лаборатории (ГОСТ 12730.1—78) его доводят до нормируемой влажности ω_n или определяют плотность бетона ρ_ω при его естественной влажности ω_m , а затем по приведенной ниже формуле вычисляют его плотность при нормируемой влажности ρ_n :

$$\rho_n = \rho_\omega \frac{1 + \omega_n/100}{1 + \omega_m/100}.$$

Многие строительные материалы применяют в виде зерновой смеси. Плотность такой смеси называют *насыпной*. Она характеризуется величиной массы материала, заполняющей единицу объема.

Насыпную плотность $\rho_{нас}$ вычисляют по той же формуле, что и плотность сплошных материалов и деталей. Насыпная плотность возрастает с увеличением степени уплотнения материала. Поэтому для каждого сыпучего материала стандарты предусматривают степень его уплотнения при определении насыпной плотности, а также объем мерного сосуда, применяемого при испытаниях,

Таблица 1 Плотности некоторых строительных материалов, кг/м³

Материалы	Плотность	Насыпная плотность
Гранит	2610—2650	—
Гранитный щебень	—	1250—1550
Известняк (плотный)	1800—2700	—
Известняковый щебень	—	1200—1500
Керамзитовый гравий	—	250—1000
Портландцемент	—	1000—1400
Шлакопортландцемент	—	1100—1250
Тяжелый бетон	2200—2500	—
Керамзитобетон	800—2200	—
Ячеистый бетон	400—1000	—
Пенопласт	40—220	—
Чугун	6800—7700	—
Сталь	7500—7860	—

В табл. 1 приведены плотности некоторых строительных материалов, применяемых при сооружении конструкций из бетона и железобетона.

Показателем плотности P , %, называется отношение объема, занимаемого твердым веществом, к объему всего материала

$$P = (V_{тв} / V_{м}) \cdot 100.$$

Объем всего материала равен

$$V_{м} = m / \rho_0.$$

Объем твердого вещества $V_{тв}$ равен

$$V_{тв} = m / \rho_{тв}.$$

Показатель плотности равен

$$P = \frac{m / \rho_{тв}}{m / \rho_0} = (\rho_0 / \rho_{тв}) \cdot 100,$$

где $\rho_{тв}$ — плотность твердого вещества материала, равная массе вещества в единицу объема его без пор и пустот.

Свойства строительных материалов во многом зависят от показателя плотности. Для материала одного и того же состава с увеличением показателя плотности увеличиваются прочность, теплопроводность, водонепроницаемость.

У всех абсолютно плотных материалов — стали, высокопрочного стекла, битума, пластических масс (кроме пенопластов и поропластов) — показатель плотности равен единице.

Материалы, у которых показатель плотности меньше единицы, называют пористыми.

Пористость — степень заполнения объема материала порами. Поры разделяют на открытые и замкнутые (см. рис. 4). Отношение объема всех пор к объему материала называют общей пористостью, которая характеризуется показателем общей пористости $P_{\text{общ}}$.

Показатели плотности и общей пористости в сумме равны единице

$$P + P_{\text{общ}} = 1.$$

Отсюда показатель общей пористости, %, находят по формуле

$$P_{\text{общ}} = (1 - \rho_0 / \rho_{\text{т.в}}) \cdot 100.$$

Открытой пористостью называется отношение объема пор, сообщающихся с атмосферой, ко всему объему материала. Открытую пористость определяют экспериментальным путем. Для этого заполняют поры, сообщающиеся с атмосферой, какой-либо жидкостью (водой, керосином) и по объему заполнившей поры жидкости судят об объеме открытых пор. Заполнить весь объем открытых пор жидкостью практически невозможно. Поэтому вычисленная таким способом открытая пористость является величиной условной и соответствие ее фактической величине зависит от метода испытаний.

Для определения открытой пористости строительных материалов их высушивают до постоянной массы, насыщают жидкостью, чаще всего водой, и взвешивают. Разность масс насыщенного жидкостью и сухого материала, деленная на плотность жидкости, дает объем жидкости, заполнившей поры материала.

Показатель открытой пористости $P_{\text{от}}$, %, определяют по формуле

$$P_{\text{от}} = \frac{V_{\text{от.пор}}}{V_{\text{м}}} \cdot 100 = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{\rho_{\text{ж}}} \cdot \frac{1}{V_{\text{м}}} \cdot 100,$$

где $m_{\text{сух}}$ — масса сухого образца до насыщения жидкостью, кг; $m_{\text{нас}}$ — масса образца материала, насыщенного жидкостью, кг; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, насытившей

образец, кг/м³; $V_{\text{от пор}}$ — объем открытых пор в образце, м³; $V_{\text{м}}$ — объем образца материала в естественном состоянии, м³.

При насыщении образца водой предыдущая формула упрощается.

Так как масса 1 м³ воды составляет 1000 кг, то величину массы воды, заполнившей поры, принимают за объем открытых пор.

$$P_{\text{от}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{м}}} \cdot 100.$$

Открытые поры оказывают большое влияние на свойства материалов. Материал со структурой, представленной на рис. 4, а, водонепроницаемый. Материал со структурой, представленной на рис. 4, б, тем более водопроницаем, чем больше в нем пор, сообщающихся с атмосферой и между собой. При определении показателя открытых капиллярных пор бетона (ГОСТ 12730.4—78) образцы насыщают водой до тех пор, пока разница их масс при взвешивании через 24 ч будет меньше 0,1% от массы образца.

Влажностью называется отношение массы содержащейся в материале воды к массе сухого материала или к его объему в естественном состоянии, выраженное в процентах.

Влажность материалов — массовую $\omega_{\text{м ест}}$ и объемную $\omega_{\text{о ест}}$ вычисляют по формулам

$$\omega_{\text{м ест}} = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%;$$

$$\omega_{\text{о ест}} = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{м}}} \cdot 100\%,$$

где $m_{\text{в}}$ — масса влажного материала, кг; $m_{\text{сух}}$ — масса сухого материала, кг.

Влажность материала оказывает влияние на его свойства. Так, материал с заполненными водой порами обладает более низкой прочностью, чем сухой материал. При повышении влажности снижаются теплозащитные свойства материалов.

Водопоглощением называется способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду.

Различают массовое и объемное водопоглощение. Массовое водопоглощение $W_{\text{м}}$ определяют отношением массы поглощенной воды при погружении в нее мате-

риала к массе сухого материала и вычисляют по формуле

$$W_m = \frac{m_{\text{вод}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%,$$

где $m_{\text{вод}}$ — масса материала с поглощенной водой, кг.

Объемное водопоглощение $W_{\text{об}}$ определяют отношением массы поглощенной материалом воды к его объему и вычисляют по формуле

$$W_{\text{об}} = \frac{m_{\text{вод}} - m_{\text{сух}}}{V_n} \cdot 100\%.$$

Методика насыщения бетона водой (ГОСТ 12730. 3—78) такая же, как при определении показателя открытых капиллярных пор бетона.

С увеличением водопоглощения снижается морозостойкость материала, в том числе и бетона.

Гигроскопичность — способность материала поглощать водяные пары из воздуха. Влага из воздуха оседает (адсорбируется) на поверхности материала, а также заполняет открытые поры радиусом до 1000 Å. Следовательно, большей гигроскопичностью обладают материалы с развитой открытой пористостью при условии преобладания пор радиусом менее 1000 Å. Кроме того, гигроскопичными являются порошкообразные материалы с большим значением удельной поверхности, которая равна площади поверхности зерен порошка в 1 г материала. Гигроскопическое поглощение влаги — процесс обратимый. При повышении влажности и понижении температуры воздуха увеличивается поглощение материалом влаги из воздуха. При повышении температуры и уменьшении влажности воздуха материал отдает поглощенную влагу в воздушную среду. Гигроскопичность бетона характеризуется его сорбционной влажностью, определяемой по ГОСТ 12852. 6—77.

Водопроницаемостью называется способность материала пропускать через себя воду под давлением. Только абсолютно плотные материалы являются водонепроницаемыми. Вода фильтруется через материал по порам, сообщающимся между собой и поверхностью материала. Фильтрация идет тем медленнее, чем меньше открытая пористость материала и чем меньше диаметр пор. Водопроницаемость определяется количеством воды, проходящей через единицу площади материала в единицу

времени при разности давлений в 0,1 МПа на поверхностях, расстояние между которыми равно единице длины.

В строительстве применяют материалы, не являющиеся абсолютно водонепроницаемыми и в то же время обеспечивающие определенные условия эксплуатации. Эти материалы не должны пропускать воду под определенным давлением в течение установленного ГОСТом времени. Поэтому для строительных материалов устанавливают марки по их водонепроницаемости, характеризуемые условными величинами, получаемыми экспериментальным путем.

Так, водонепроницаемость бетона (ГОСТ 12730. 5—78) устанавливают испытанием образцов-цилиндров 7 (рис. 5) с диаметром и высотой, равной 15 см. К одному из торцов образца подводят под давлением воду. Испытание начинают при давлении воды 0,1 МПа и через каждые 8 ч давление повышают на 0,1 МПа.

В момент появления на сухом торце образца признаков просачивания воды (образование темного влажного пятна) фиксируют величину давления воды. В зависимости от величины этого давления устанавливают марку бетона по водонепроницаемости: В2; В4; В6; В8; В10; В12.

Коэффициент фильтрации K_f бетона каждой из приведенных марок должен быть не больше величины, установленной ГОСТ 19426—74. В зависимости от условий эксплуатации конструкции значение коэффициента фильтрации K_f определяют на образцах в состоянии: равновесной влажности — для конструкций, работающих в условиях переменного увлажнения и высыхания, а также в воздушно-влажных условиях; водонасыщения — для конструкций, работающих постоянно в контакте с водой.

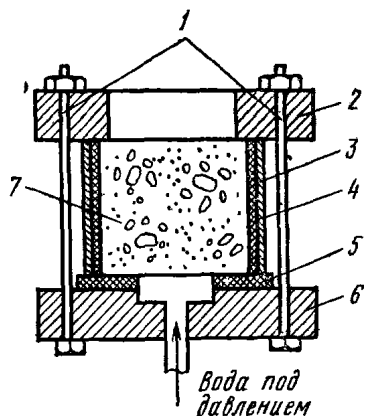


Рис 5 Схема устройства для испытания бетона на водонепроницаемость:

1 — стяжные болты, 2 — верхний прижимной фланец, 3 — обойма, 4 — уплотняющий материал, 5 — уплотняющая резиновая подкладка, 6 — нижний фланец, 7 — образец-цилиндр из бетона

Морозостойкостью называется способность насыщенного водой материала выдерживать определенное число циклов попеременного замораживания и оттаивания. При температуре от 0° и ниже вода превращается в лед. Объем образовавшегося льда примерно на 9% больше объема воды, в результате чего развивается давление, которое может привести к разрушению материала.

Давление льда в расположенных рядом внутренних порах взаимно компенсируется. В порах, расположенных у поверхности материала, давление, направленное к поверхности, ничем не компенсируется и поэтому материал начинает разрушаться с поверхности. Так как в большинстве случаев не весь объем пор заполнен водой, то при замерзании вода расширяется внутрь не заполненных ею пор, снижая тем самым давление на стенки твердого вещества. Поэтому при однократном замерзании воды материал не разрушается. При циклическом замораживании и оттаивании увеличивается количество поглощенной материалом воды и он постепенно разрушается. Чтобы разрушить материал в конструкции или образцах, при испытаниях на морозостойкость требуется от десятков до сотен циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Под воздействием низких температур материал разрушается тем быстрее, чем больше его открытая пористость, водопоглощение и ниже прочность. На морозостойкость материала большое влияние оказывают размеры пор. Чем меньше диаметр капилляров, тем ниже температура, при которой замораживается заполнившая их вода. Установлено, что в тончайших капиллярах вода не замерзает при температуре до -78°C . Для большинства строительных материалов замерзание основного объема поглощенной ими воды происходит при температуре от -15 до -18°C . Поэтому строительные материалы испытывают на морозостойкость путем попеременного замораживания водонасыщенных образцов на воздухе при температуре -15°C и оттаивания в воде при температуре 18°C .

Образцы замораживают в специальных камерах. Время замораживания и оттаивания зависит от материала и размеров образца. Одно замораживание и оттаивание принимается за один цикл испытания. Число циклов испытаний регламентируется СНиПом или ГОСТом в зависимости от назначения сооружения, климатического