

Оглавление

Глава 1. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	5
Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	6
2.1. Физические свойства	6
2.2. Гидрофизические свойства	8
2.3. Теплофизические свойства	20
2.3.1. Теплоемкость	20
2.3.2. Теплопроводность	21
2.3.3. Тепловое расширение	25
2.3.4. Огнестойкость	27
2.3.5. Пожарная опасность	28
2.3.6. Методы определения пожарно-технических свойств и группы горючести строительных материалов.....	29
2.3.7. Огнеупорность	30
Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ДЕФОРМАЦИИ	31
3.1. Общие сведения	31
3.2. Деформации и напряжения	31
3.2.1. Деформации растяжения и сжатия. Сдвиг.....	33
3.2.2. Связь между модулями упругости	36
3.3. Дислокации в кристаллах	37
3.4. Прочность.....	39
3.5. Твердость, истраемость, износ	51
3.6. Релаксация	52
Глава 4. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	53
Вопросы для самоконтроля	55
Библиографический список	56

Глава 1

СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойством называется особенность, присущая предмету, материалу, изделию, определенным образом реагировать на воздействие одного или нескольких внешних или внутренних параметров и позволяющая включение их в тот или иной классификационный раздел.

Свойства определяются особенностями строения материала и свойствами веществ, входящих в его состав. Для природных (горные породы, древесина и др.) строение материала зависит в основном от его происхождения и условий образования, для искусственных (цемент, бетон, кирпич) — от свойств сырья и технологии производства.

Свойства строительных материалов подразделяют на физические, механические, химические, реологические, технологические, экологические и др.

Глава 2

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Физические свойства характеризуют отношение материала к различным физическим процессам. К важнейшим физическим свойствам строительных материалов относят массу, истинную, среднюю и насыпную плотность, пористость, межзерновую пустотность, в том числе гидрофизические — водопоглощение, водопроницаемость, водостойкость, гигроскопичность, влажность, водоотдачу, водо-, паро-, воздухо- и газопроницаемость, морозостойкость, а также теплофизические — теплоемкость, теплопроводность, огнестойкость, огнеупорность и др.

2.1. Физические свойства

Масса — физическая характеристика, определяющая инерционные и гравитационные свойства материала и обладающая определенным объемом. Физические тела постоянного объема, состоящие из одного вещества и при наличии различного содержания воздушно-газовой среды, или из различных веществ, содержащих одинаковое и/или различное количество воздушно-газовой среды, могут иметь неодинаковую массу. Различие в массе материалов, имеющих равный объем, характеризуется понятием плотности.

Плотность — свойство материала, определяемое отношением массы к его объему, или масса единицы объема материала. Величина, обратная плотности, называется **удельным объемом**. Различают истинную, среднюю и насыпную плотность.

Истинная плотность (ρ) — масса единицы объема абсолютно плотного (без пор и пустот) материала. Определяется истинная плотность, кг/м³ (г/см³), по формуле:

$$\rho = m/V_a, \quad (2.1)$$

где m — масса материала, кг (г);

V_a — объем материала абсолютно плотного состояния, м³ (см³).

Строительные материалы, за исключением получаемых из расплавов (металлы, стекло, пластмассы), являются пористыми. При определении истинной плотности пористых материалов их измельчают до тонкодисперсного порошкообразного состояния, ликвидируя при этом поры и обеспечивая суммарный объем частиц материала, равный его объему в абсолютно плотном состоянии. Истинная плотность материалов определяется главным образом их химическим составом.

Средняя плотность (ρ_m) — масса единицы объема сухого материала в естественном состоянии ($V_{ест}$, м³ (см³)) с порами и пустотами, кг/м³ (г/см³):

$$\rho_m = m_c/V_{ест}, \quad (2.2)$$

где m_c — масса сухого образца, кг(г).

Средняя плотность зависит главным образом от пористости и химического состава материала. Взамен понятия средней плотности обычно применяется упрощенное — плотность. Изменяя пористость, получают искусственные строительные материалы с различным значением средней плотности, оказывающей значимое влияние на прочность, теплопроводность, водопоглощение, проницаемость для газовых и жидких сред и т.п.

Насыпная плотность (ρ_n) — масса единицы объема рыхло насыпных порошковых (цемент, тонкодисперсные минеральные добавки и др.), зернистых (песок, щебень, гравий и др.) или волокнистых (гранулированной минеральной ваты, шлаковой ваты и т.п.) материалов. В этом случае в объем материала включаются собственные поры, а также объем межчастичных межзерновых или межволоконных пустот. Определяется насыпная плот-

ность спомощью стандартных мерных сосудов. Насыпную плотность определяют, кг/м³ (г/см³), по формуле:

$$\rho_H = m/V_{MC}, \quad (2.3)$$

где m — масса сухого материала в заполненном мерном сосуде, кг (г);
 V_{MC} — объем мерного сосуда, м³ (см³).

Пористость (П) — степень заполнения объема материала воздушными включениями в виде пор. Выражают в долях или в процентах объема материала. Для расчета пористости используют значения средней и истинной плотности материала, в долях или в процентах:

$$П = 1 - \rho_m/\rho; \quad (2.4)$$

или
$$П = (1 - \rho_m/\rho)100 \%. \quad (2.5)$$

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 до 98 %. Например, пористость гранита составляет 0,2...1,4 %, керамического кирпича — 25–35 %, тяжелого бетона — 5–10 %, ячеистого бетона — 50–90 %, пенопласта — 95–96 %, мипора (вспененный полимер) — 98 %, пористость металла и стекла равна нулю (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Плотность и пористость некоторых строительных материалов

Наименование материала	Плотность, г/см ³		Пористость, %
	истинная	средняя	
Бетон:			
тяжелый	2,6	2,4	10
легкий	2,6	1,0	61,5
ячеистый	2,6	0,5	81
Кирпич:			
обыкновенный	2,65	1,8	32
пустотелый	2,65	1,3	51
Природные камни:			
гранит	2,7	2,67	1,12
мрамор	2,9	2,7	6,9
Стекло:			
оконное	2,65	2,65	0,0
пеностекло	2,65	0,30	88
Полимерные материалы:			
стеклопластик	2,0	2,0	0,0
мипора (вспененный полимер)	1,2	0,015	98
Древесные материалы:			
сосна	1,53	0,5	67
древесно-волокнистая плита	1,5	0,2	86

Поровую структуру материала различают в виде интегральной (общей), дифференциальной (распределением пор по размерам), открытой и закрытой пористости, среднего радиуса пор и их внутренней удельной поверхности. Объем, размер и формы пор, их характер (замкнутые или открытые) оказывают значимое влияние на большинство важнейших свойств (плотность, прочность, водопоглощение, водонепроницаемость, морозостойкость, коррозионная стойкость, теплопроводность и др.) материалов. Например, изменение пористости тяжелого бетона на 1 % изменяет прочность его на 3–6 %.

Коэффициент плотности ($K_{пл}$) — степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{пл} = \rho_m / \rho, \quad (2.6)$$

Очевидно, что сумма $\Pi + K_{пл} = 1$, или 100 %. Объем твердой фазы определяет механические свойства материала, а воздушной — тепло- и гидрофизические и др.

Открытая пористость (Π_o) равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к объему материала V_0 :

$$\Pi_o = \frac{m_2 - m_1}{V_0 \rho_{H_2O}}, \quad (2.7)$$

где m_1 и m_2 — масса образца соответственно в сухом и насыщенном водой состояниях; ρ_{H_2O} — плотность воды.

Открытые поры материала могут сообщаться между собой и окружающей средой и заполняются водой в условиях обычного насыщения, например, при погружении образцов материала в воду. Открытые поры повышают проницаемость и водопоглощение материала, ухудшают его морозостойкость.

Закрытая пористость (Π_z) определяется по формуле:

$$\Pi_z = \Pi - \Pi_o. \quad (2.8)$$

Пористый материал обычно содержит и открытые, и закрытые поры. Изменение их соотношения оказывает значимое влияние на свойства строительных материалов. Увеличение объема закрытых пор повышает их долговечность, в частности, морозостойкость. И наоборот, в звукопоглощающих материалах специально создаются открытая пористость и перфорация, поглощающие звуковую энергию.

Очевидно, что практически все свойства строительных материалов определяются их составом и строением и в значительной степени качественными характеристиками поровой структуры.

2.2. Гидрофизические свойства

Взаимодействие воды или пара со строительным материалом отражает *гидрофизические свойства*. К ним относятся гигроскопичность, гидрофильность, гидрофобность, влажность, водопоглощение, водопроницаемость, капиллярное всасывание, набухание и усадка.

Гигроскопичность — способность материала поглощать влагу из окружающей среды (воздуха). Зависит от характеристики пористости материала и его химического состава. По отношению к воде они подразделяются на гидрофильные, хорошо смачиваемые и гидрофобные, которые лучше смачиваются неполярной жидкостью (например, маслом) и не смачиваются водой. Поглощение влаги из воздуха связано с адсорбцией водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсацией гидрофильных материалов. Такой процесс называется *сорбцией* и является обратимым. Материалы с тонкодисперсной поровой структурой за счет большей удельной поверхности и более высокого капиллярного потенциала являются более гигроскопичными.

Древесина, теплоизоляционные и другие виды пористых материалов характеризуются развитой поверхностью пор и поэтому обладают высокой сорбционной способностью. Сорбционная способность материалов увеличивается с повышением относительной влажности окружающей среды.

Адсорбция и капиллярная конденсация влаги из окружающей среды могут значимо повысить влажность пористых строительных материалов, которая даже после их продол-

жительного выдерживания на воздухе остается достаточно высокой. Например, равновесная влажность воздушно-сухой древесины составляет 12–18 %, стеновых материалов — 5–7 % по массе. Теплопроводность материалов при увлажнении значительно увеличивается, например, повышение влагосодержания ячеистого бетона на 1 % увеличивает коэффициент теплопроводности на 0,01 Вт/(м·°С), что компенсируется увеличением толщины ограждающей конструкции для обеспечения ее требуемого термического сопротивления. При эксплуатации теплоизоляционных материалов для предотвращения доступа влаги извне их покрывают гидроизоляционными материалами (пленкой, мастиками и др.).

Гидрофильность — способность материала смачиваться водой. Это свойство функционально связано с такими характеристиками, как усадка, усушка, набухание, влагопоглощение, водопоглощение и водонепроницаемость, а также с технологичностью, эксплуатационной пригодностью и надежностью материала.

Гидрофобность — способность материала не смачиваться капельножидкой влагой. Возникает при обработке поверхности веществами-гидрофобизаторами или при введении их в состав материала (бетон, раствор и др.). Долговечность строительных материалов при этом повышается.

Капиллярное всасывание жидкости пористым материалом происходит в том случае, если часть конструкции находится с ней в контакте, а жидкость является гидрофильной. Например, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять не только нижнюю часть стены здания, но и подниматься вверх на большую высоту, проникая в помещения и значительно ухудшая их комфортность. Определяется капиллярное всасывание материала высотой поднятия и количеством поглощенной воды. Предотвращают это явление устройством гидроизоляционного слоя, разделяющего фундаментную и наземную части конструкции стены.

Высота поднятия жидкости в капилляре определяется по формуле:

$$h = \frac{2\delta \cos \Theta}{r\rho g}, \quad (2.9)$$

где δ — поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

Θ — краевой угол смачивания;

r — радиус капилляра, м;

ρ — плотность жидкости, кг/м³;

g — ускорение силы тяжести, м/с².

Формула (2.9) носит название закона Жюрена. Чем меньше радиус капилляра, тем выше поднимается в нем жидкость.

Если жидкость не смачивающая, то $\cos \Theta$ имеет отрицательное значение и происходит не подъем, а опускание жидкости. Если взять капиллярную трубку и погрузить ее в ртуть, то ртуть опускается вниз на высоту h , которая также вычисляется по формуле Жюрена (h направлена вниз, поскольку $\cos \Theta$ отрицательный). Поэтому обработка поверхности материала и пор приповерхностного слоя гидрофобными веществами предотвращает его смачивание и, соответственно, капиллярный подъем жидкости.

Поры в строительных материалах имеют неправильную форму и различное поперечное сечение, поэтому формула Жюрена может быть применима только для качественной оценки капиллярных процессов, протекающих при контакте конструкций с жидкими средами, в том числе с водой. Экспериментально высоту подъема воды определяют по изменению электропроводности материала либо применяя метод меченых атомов.

Уменьшение интенсивности всасывания жидкости свидетельствует о более качественной закрытой поровой структуре материала и возможном повышении его коррозионной стойкости и морозостойкости.

Водопоглощение — способность материала поглощать и удерживать воду при непосредственном контакте с ней. Водопоглощение пористых материалов (бетона, кирпича и др.) определяют по стандартной методике, выдерживая образцы в воде до полного насыщения. Температура используемой воды должна быть 20 ± 2 °С. Водопоглощение, определяемое погружением образцов материала в воду, характеризует в основном открытую пористость. В закрытые поры вода не проникает. К тому же при извлечении образцов из воды она частично вытекает из крупных пор, так как не удерживается капиллярными силами, и поэтому водопоглощение обычно меньше пористости. Например, пористость легкого бетона может быть 50–60 %, а его водопоглощение составляет 20–30 %.

Определяют водопоглощение по объему и массе.

Водопоглощение по объему W_o , %, — степень заполнения объема материала водой:

$$W_o = \frac{(m_b - m_c)}{V \rho_{H_2O}} 100, \quad (2.10)$$

где m_b — масса образца материала, насыщенного водой, кг;

m_c — масса образца в сухом состоянии, кг;

ρ_{H_2O} — плотность воды, кг/м³;

$(m_b - m_c) / \rho_{H_2O}$ — объем воды, поглощенной материалом.

Водопоглощение по массе W_m , %, определяют по отношению к массе сухого материала:

$$W_m = \frac{(m_b - m_c)}{m_c} 100. \quad (2.11)$$

Разделив W_o на W_m , получим:

$$\frac{W_o}{W_m} = \frac{\left[\frac{(m_b - m_c)}{V \rho_{H_2O}} \right] 100}{\left[\frac{(m_b - m_c)}{m_c} \right] 100} = m_c / (V \rho_{H_2O}) = \rho_c / \rho_{H_2O} = d, \quad (2.12)$$

Таким образом, отношение между водопоглощением по объему и по массе является безразмерной величиной d , численно равной средней плотности материала, или:

$$W_o = W_m d. \quad (2.13)$$

Водопоглощение различных строительных материалов колеблется в пределах: гранита — 0,02–1,4 %, тяжелого бетона — 2–4 %, кирпича — 8–15 %, пористых теплоизоляционных материалов — 100 % и более. Водопоглощение по массе материалов с высоким содержанием пор может быть больше пористости, а водопоглощение по объему никогда не превышает объема пор в материале.

Очевидно, что с увеличением насыщения материалов водой могут наблюдаться набухание, снижение прочности и морозостойкости, а также повышение их теплопроводности, что необходимо учитывать при эксплуатационной оценке материалов. Ухудшение механических свойств материалов при повышении водонасыщения может быть связано с адсорбционным облегчением их деформации и, соответственно, понижением прочности, называемым *эффектом Ребиндера*, который в большей степени проявляется при наличии в жидкой среде поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для уменьшения водопоглощения искусственных строительных материалов стремятся получить мелкие замкнутые поры, равномерно распределенные в объеме, а также использовать гидрофобизаторы в составе материала или для обработки поверхности конструкций, контактирующих с водой. Следует также отметить, что важной гидрофизической характеристикой является отношение водопоглощения по объему (W_o) к пористости (Π) W_o/Π , называемое *коэффициентом на-*

сыщения пор водой (K_H) и позволяющее качественно оценить морозостойкость материала. При $K_H > 0,8$ материал считается условно неморозостойким, при $K_H < 0,6$ — морозостойким, а при $0,6 \leq K_H \leq 0,8$ морозостойкость материала непрогнозируема.

Влажность — содержание в материале воды в свободном состоянии. Зависит влажность от свойств самого материала (поверхностной энергии материала, образующего поры, гигроскопичности, объема и дифференциального распределения пор по размерам), а также от характеристики окружающей среды (относительная влажность воздуха, наличие контакта с водой и др.). Влажность учитывают при приемке и хранении материалов по массе, а также при транспортировке. Она оказывает значимое влияние на теплопроводность, морозостойкость, коррозионную стойкость, биостойкость и ряд других свойств материалов.

Водостойкость (влагостойкость) — способность материала длительно сопротивляться разрушающему действию влаги при постоянном увлажнении или переменном увлажнении и высыхании.

Это свойство связано с возможностью растворения в воде составных частей материала. **Растворение** — физико-химический процесс перехода ионов или молекул вещества в воду и их гидратация. Количественной характеристикой водостойкости является коэффициент размягчения ($K_{\text{разм}}$), который определяется как отношение предела прочности при сжатии образца материала в насыщенном водой (R_H) состоянии к пределу прочности образца в сухом состоянии (R_C):

$$K_{\text{разм}} = R_H / R_C. \quad (2.14)$$

Коэффициент размягчения для различных материалов изменяется от 0 (необожженные размокающие глины) до 1 (сталь, стекло, битум и др.). Материалы с коэффициентом размягчения не менее 0,8 относятся к водостойким. Они допускаются к применению в строительных конструкциях, эксплуатируемых в воде или во влажных условиях.

Водопроницаемость — способность материала пропускать воду под давлением. Количественным показателем водопроницаемости является коэффициент фильтрации (K_f), равный количеству воды (Q), прошедшей через материал, за один час при постоянном давлении:

$$K_f = Q\eta\delta / [Spt], \quad (2.15)$$

где η — коэффициент, учитывающий вязкость воды при различной температуре, принимают по табл. 2.2;

δ — толщина образца, см;

S — площадь образца, см²;

t — время, с.

Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости (см/с).

Таблица 2.2

Значения коэффициента η

Температура воды, °С	15	20	25
Коэффициент η	1,13	1,0	0,89

Примечание. При температуре воды, находящейся в интервале между указанными в табл. 2.2 значениями, коэффициент η принимают по интерполяции.

При определении коэффициента фильтрации испытанием серии образцов используют среднее арифметическое значение коэффициентов фильтрации двух средних (третьего и четвертого).

Для материалов и конструкций, к которым предъявляются требования ограничения проницаемости или повышенной плотности и коррозионной стойкости, назначают марки по водонепроницаемости (W). Водонепроницаемость — характеристика материала, оцениваемая максимальным давлением воды, при котором в стандартных условиях испытаний материал не пропускает воду.

Установлены следующие марки по водонепроницаемости: W2; W4; W6; W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20. Цифра в обозначении марки материала по водонепроницаемости указывает максимальное давление воды в атм (кгс/см²).

Водонепроницаемость материала определяется при одностороннем гидростатическом давлении, при котором образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания. При проведении испытания наблюдают, при каком давлении на поверхности образца материала появляются влажные пятна или капли воды. Это давление и определяет марку материала по водонепроницаемости. Диаметр образцов принимают равным 150 мм, а высоту в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя (для бетона) в соответствии с табл. 2.3.

Таблица 2.3

Зависимость высоты образца от наибольшей крупности зерен заполнителя

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Наименьшая высота образца, мм
5	30
10	50
20	100

Образцы испытывают на водонепроницаемость в нормативном возрасте. При этом их прочность должна соответствовать проектному значению. Перед испытанием образцы выдерживают в помещении лаборатории в течение суток.

Проведение испытаний для **определения водонепроницаемости по мокрому пятну** возможно осуществлять с использованием установки любой конструкции, которая имеет не менее шести гнезд-ячеек для крепления образцов и обеспечивает возможность подачи воды к нижней торцевой поверхности образцов при возрастающем ее давлении, а также возможность наблюдения за состоянием верхней торцевой поверхности образцов. Диаметр открытых торцевых поверхностей образцов должен быть не менее 130 мм.

Водонепроницаемость каждого образца оценивают по максимальному давлению воды, при котором еще не наблюдается ее просачивание через образец.

Водонепроницаемость серии образцов оценивают по максимальному давлению воды, при котором на четырех из шести образцов не наблюдалось просачивания воды.

Между коэффициентом фильтрации и маркой по водонепроницаемости имеется определенное соотношение, в частности, чем ниже K_f , тем выше марка по водонепроницаемости. Например, при $K_f = 7 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-8}$ см/с, водонепроницаемость соответствует марке W2, а при $6 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-10}$ см/с — W10.

Кроме прямого определения водонепроницаемости материала может также применяться ускоренный **метод оценки по воздухопроницаемости**. Размеры тестовых контрольных образцов принимаются такими же, как и при определении водонепроницаемости прямым методом. Допускается при этом испытывать не только образцы-цилиндры, но и образцы-кубы с ребром, равным 150 мм. Число образцов в серии принимается равным шести. При хранении необходимо исключать возможность попадания воды на поверхность образцов. Принципиальная схема устройства для определения воздухопроницаемости поверхностных слоев материала представлена на рис. 2.1.

Марку по водонепроницаемости в этом случае определяют по известным табличным данным технической документации или в случае невозможности их применения — по экспериментально устанавливаемой градуировочной зависимости с использованием результатов испытаний конкретного вида материала.

Водопроницаемые материалы не допускается применять при строительстве гидротехнических сооружений, резервуаров, коллекторов, стен подвалов зданий и т.п. В таких условиях используются плотные с замкнутыми порами материалы, а также устраиваются гидроизоляционные слои, экраны и др.

Особо плотные материалы (сталь, стекло, битум) и материалы с замкнутыми мелкими порами (специальные виды бетонов, пенополиуретан и т.п.) практически водонепроницаемы.

Газо- и паропроницаемость — способность материала пропускать через свою толщу газ (воздух) или водяной пар. Очевидно, что паро- и газопроницаемость в значительной степени зависят от поровой структуры материала (интегральная пористость, замкнутая, открытая, капиллярная, тонкодисперсная и др.). При возникновении у поверхностей ограждения разности давления газа происходит его перемещение через поры и трещины материала. Поскольку материал содержит макро- и микропоры, перенос газа может происходить одновременно вязкостным и молекулярным потоками.

Использование закона Дарси—Пуазейля при небольших перепадах давлений, когда можно пренебречь изменением плотности и вязкости газа, приводит к упрощенной формуле для определения массы газа V_p плотностью ρ , прошедшего через стенку площадью S и толщиной a за время t при разности давлений на гранях стенки Δp , равной 133,3 Па:

$$V_p = K_r St \Delta p / a. \quad (2.16)$$

Коэффициент газопроницаемости, г/м·ч·Па, будет определяться по формуле:

$$K_r = V_p a / St \Delta p. \quad (2.17)$$

Стеновые материалы с целью обеспечения комфортности помещений должны обладать определенной проницаемостью, обеспечивая естественную вентиляцию зданий и помещений. При устройстве ограждающих конструкций паронепроницаемые материалы должны располагаться с той стороны, содержание водяного пара в воздухе у которой является более высоким.

В ряде случаев необходима практически полная газонепроницаемость. Это относится к емкостям для хранения газов, а также к специальным сооружениям, внутреннее пространство которых должно быть защищено от проникновения зараженного воздуха (например, газозубежища). Для этих целей используются металлы, а также особо плотные бетоны, в том числе полимербетоны, бетонополимеры и др.

Влажностные деформации — изменение размеров и объема материала при изменении его влажности (усадка и набухание). При насыщении материалов водой происходит их *набухание* (увеличение объема), а при высушивании — *усадка* (уменьшение линейных размеров и объема). Попеременное увлажнение и высушивание материалов является опасным процессом, приводящим к накоплению в их структуре дефектов, энергии в виде остаточных деформаций, появлению трещин и снижению прочности.

Пористые неорганические (бетоны, кирпич и др.) и органические (древесина и др.) материалы и особенно аморфного строения подвержены деформациям усадки и набухания в большей степени. При этом усадка происходит, в основном когда из материала удаляется вода из тонкодисперсных пор. При удалении воды исчезают коагуляционные кон-

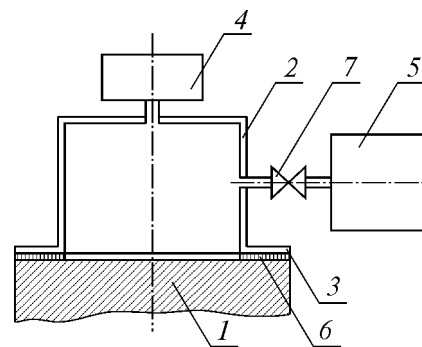


Рис. 2.1. Принципиальная схема устройства для определения воздухопроницаемости поверхностных слоев:

- 1 — образец; 2 — камера устройства;
- 3 — фланец камеры;
- 4 — вакуумметрический датчик;
- 5 — вакуум-насос; 6 — герметизирующая мастика; 7 — вентиль

такты, а силы взаимодействия между соседними близко расположенными частицами твердой фазы значимо увеличиваются, вызывая усадку материала. Испарение воды из крупных пор по этой причине практически не вызывает объемных изменений.

Высокопористые материалы (древесина, ячеистые бетоны), особенно аморфного строения, способные к поглощению большого количества воды, характеризуются повышенной усадкой (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Усадка материалов

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

Морозостойкость — способность материала выдерживать в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов), значительного снижения прочности, потери массы и ухудшения других технических характеристик.

За марку материала по морозостойкости (F) принимается соответствующее число циклов замораживания и оттаивания образцов, установленное базовыми методами, при которых их масса и другие характеристики, установленные стандартом на конкретный вид материала, например, прочность на сжатие, сохраняются в нормируемых пределах и отсутствуют внешние признаки разрушения (трещины, сколы). Установлены следующие марки по морозостойкости: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000. Цифра в обозначении марки морозостойкости показывает число циклов замораживания и оттаивания образцов, выдерживаемое материалом.

Замораживание насыщенных водой или раствором соли образцов материала осуществляют при температуре -18 ± 2 °С в течение 4 ч, а оттаивание — в течение 4 ч при температуре 20 ± 2 °С.

С понижением температуры, и особенно при замораживании в растворах солей, материал разрушается значительно быстрее. При определении морозостойкости ускоренными методами, которые проводятся в растворах солей и/или при более низкой температуре замораживания, один цикл переменного замораживания и оттаивания в зависимости от вида материала, марки по морозостойкости и метода испытаний может быть равен 2–25 циклам базового метода (замораживание при температуре -18 ± 2 °С), что значительно сокращает продолжительность проведения испытаний.

Определение морозостойкости осуществляют испытаниями основных и контрольных образцов материала на потерю массы, а также на снижение прочности на сжатие, изменение скорости прохождения звука и др. С этой целью изготавливают основные образцы, предназначенные для замораживания и оттаивания, и контрольные — для определения прочности на сжатие без замораживания и других контролируемых параметров перед началом испытания основных образцов. Морозостойкость определяют в проектном возрасте (после финишных испытаний), установленном в нормативно-технической и проектной документации, при достижении материалом прочности на сжатие, соответствующей его марке или классу.

Разрушение структуры материала в условиях многократного переменного замораживания и оттаивания вызывается давлением на стенки пор и микротрещин, создаваемым льдом, образующимся при кристаллизации замерзающей воды.

При замораживании вода в материале переходит в твердое состояние — лед с плотностью $0,917 \text{ г/см}^3$ с увеличением объема более чем на 9 %, создавая в материале значительные растягивающие напряжения. Попеременные теплосмены (замораживание и оттаивание) знакопеременно деформируют, повышают энтропию и степень неупорядоченности структуры, накапливаются дефекты, в том числе образующиеся за счет диффузии их дефектные зоны, снижается прочность и в момент, когда давление расширения превышает предел прочности при растяжении, наблюдается разрушение материала. Давление, которое развивается при фазовом переходе воды в лед, может достигать значения до 200 МПа (по Н.Б. Урьеву).

Очевидно, что способность материала противостоять разрушению при многократном переменном замораживании и оттаивании в насыщенном водой состоянии связана главным образом с прочностью и наличием в его структуре определенного объема замкнутых пор, незаполненных жидкой фазой, называемых *резервными порами*, в которые отжимается часть воды в процессе замораживания под действием давления растущих кристаллов льда. Перемещение части воды в резервные поры снижает растягивающие напряжения, возникающие за счет фазового перехода воды из жидкого состояния в лед. Этот процесс не может быть даже частично обратимым, так как при оттаивании материала часть воды, отжатой в резервные поры, не может быть возвращена капиллярными силами в более мелкие поры, из которых она поступила при замораживании, ввиду полного заполнения их водой.

Материал разрушится либо, когда объем резервных и других видов пор, в которые может перемещаться вода, незначителен по сравнению с увеличением ее объема за счет образования льда, либо, когда в результате многократного переменного замораживания и оттаивания все поры будут полностью обводнены и при их замораживании в полном объеме образуется лед.

Удовлетворительная морозостойкость пористых строительных материалов наблюдается в том случае, если вода заполняет не более 80 % открытых пор. Плотные материалы, не имеющие пор, или материалы с незначительной открытой пористостью, водопоглощение которых не превышает 0,5 % (например, гранит), обладают очень высокой морозостойкостью.

Требования по морозостойкости предъявляются ко многим видам строительных материалов, систематически подвергающимся попеременному замораживанию и оттаиванию, в частности, применяемым в гидротехническом и дорожном строительстве, в строительстве аэродромов, а также к стеновым материалам, используемым в фундаментах, кровлях и др.

Эффективными способами повышения морозостойкости строительных материалов являются применение гидрофобных добавок, например, алюмометилсиликоната натрия (АМСР-3), полигидросилоксанов 136-41 (бывшая кремнийорганическая жидкость ГКЖ-94) и 136-57М (бывшая ГКЖ-94М), и, кроме того, предотвращение доступа воды из среды эксплуатации в их поровую структуру путем кольматации пор пропиткой (полимерами, серой и др.), в том числе покрасочными составами. Одним из наиболее применяемых материалов в строительстве является бетон. Специально рассмотрим особенности его морозостойкости.

Морозостойкость бетона — способность в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик. Морозостойкость бетона характеризуют соответствующей маркой по морозостойкости F_1 и F_2 .

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru