

Лекция 2 Бетон



Бетон – композитный материал, в котором крупный и мелкий заполнители, соединенные вяжущим (цемент, жидкое стекло), сопротивляются нагрузкам как одно монолитное тело.

Бетону можно придавать определенные заранее заданные свойства

- ⦿ **к прочностным свойствам** относятся нормативные и расчетные характеристики бетона при сжатии и растяжении, сцепление бетона с арматурой;
- ⦿ **к физическим** – водонепроницаемость, морозо-жаростойкость, коррозионная стойкость, огнестойкость;
- ⦿ **к деформативным** – сжимаемость и растяжимость бетона под нагрузкой, ползучесть и усадка, набухание и температурные деформации.

2.1 Классификация бетонов

По основному назначению:

- конструкционные;
- специальные (жаростойкие, химически кислотостойкие, радиационно-защитные);



По виду вяжущего:

- цементные;
- известковые;
- шлаковые;
- гипсовые;
- специальные (органические и неорганические).

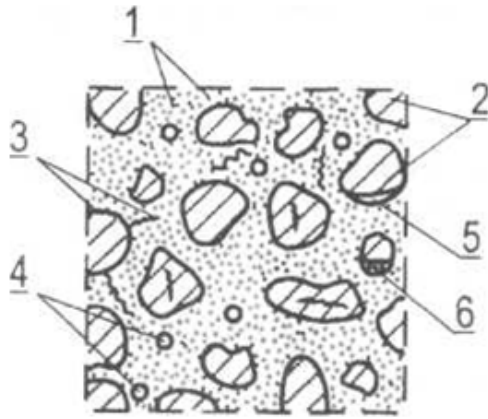


Рис.2.1 Структура бетона: 1 - окаменевший цементно-песчаный раствор; 2 - зерна крупного заполнителя; 3 - структурные трещины в матрице и на границе зерен заполнителя; 4 -крупные поры и капилляры; 5 - пустоты под зернами крупного заполнителя; 6 - разрыхленная порами структура цементного камня под отдельными зернами крупного заполнителя

По структуре:

- Плотные бетоны;
- крупнопористые бетоны;
- поризованные бетоны;
- ячеистые бетоны.

По средней плотности (марка бетона, D):

- особо тяжелые ($\rho > 2500$ кг/м³);
- тяжелые ($\rho = 2200 \div 2500$ кг/м³);
- облегченные (чаще мелкозернистые) ($\rho = 1800 \div 2200$ кг/м³);
- легкие ($\rho = 800 \div 1800$ кг/м³).

По условиям твердения:

- бетоны естественного твердения;
- бетоны, подвергнутые тепловлажностной обработке при атмосферном давлении;
- бетоны, подвергнутые автоклавной обработке при высоком давлении и температуре.

По виду заполнителей:

- на плотных заполнителях (щебень, песок, гравий);
- на пористых заполнителях (естественных – пемза, перлит, ракушечник; искусственных – керамзит, шлак);
- на специальных заполнителях.

По зерновому составу:

- крупнозернистые;
- мелкозернистые.

Физические свойства бетона

- **Водонепроницаемость материала** - его способность не пропускать воду (марка W2)
- **Морозостойкость** - способность материала в увлажненном состоянии сопротивляться разрушающему воздействию попеременного замораживания и оттаивания. (марка F25)
- **Жаростойкость** - способность бетона сохранять прочность при длительном воздействии высоких температур (выше 200 °C).
- **Огнестойкость**, измеряемая в часах, - способность бетона сохранять прочность при воздействии открытого огня (1000...1100 °C).
- **Коррозионная стойкость** - способность бетона не вступать в химическую реакцию с окружающей средой.

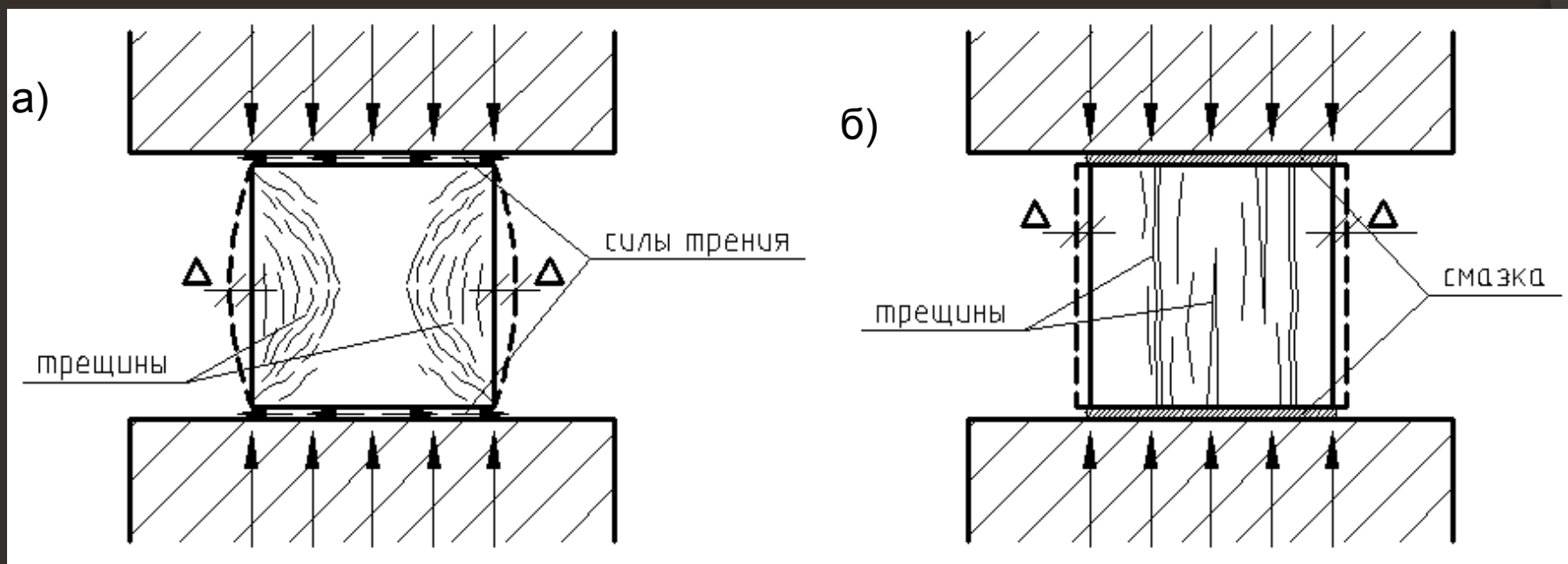
2.2 Прочностные свойства бетона

Факторы, влияющие на прочность бетона:

- структура бетона;
- марка цемента;
- водоцементное отношение В/Ц;
- вид мелкого и крупного заполнителя;
- условия твердения;
- вид напряженного состояния;
- форма и размеры сечения;
- длительность действия нагрузки.

2.2.1 Кубиковая прочность бетона

За **кубиковую прочность** бетона принимают временное сопротивление **R** эталонных кубов размером 150x150x150 мм, испытанных при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ через 28 дней твердения в нормальных условиях (температуре воздуха 15...20°C и относительной влажности 90...100%).



Характер разрушения бетонных кубов:
а – несмазанный куб; б – смазанный куб;
Δ – поперечные деформации бетона

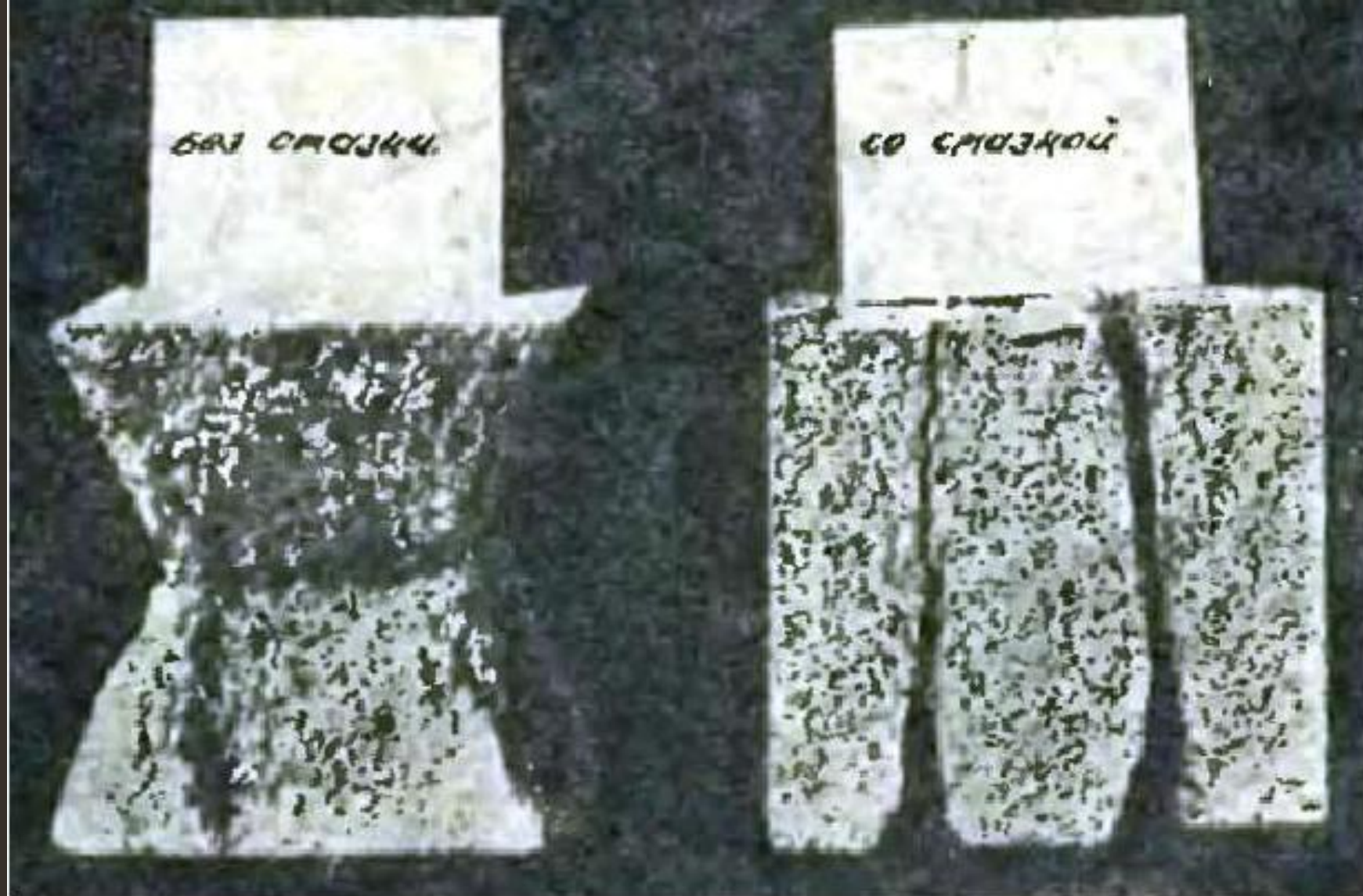
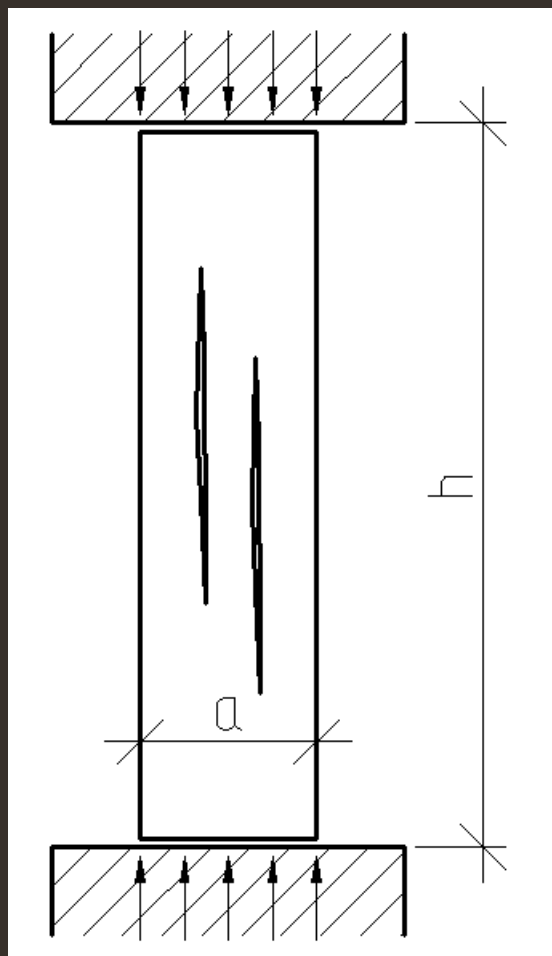


Рис. 2.4. Схема деформирования бетона при сжатии

- а) – при наличии трения по опорным плоскостям;**
- б) – при отсутствии трения; 1 – смазка**

2.2.2 Призменная прочность



Под **призменной прочностью** понимают временное сопротивление R_b осевому сжатию призмы с отношением высоты призмы h к размеру a квадратного основания, равным 4.

2.2.3 Прочность бетона на осевое растяжение

$$R_{bt} = 0.1R_b \dots 0.05R_b$$

Ориентировочное значение R_{bt} можно определить по эмпирической формуле Фере:

$$R_{bt} = 0.234 \sqrt[3]{R^2}$$

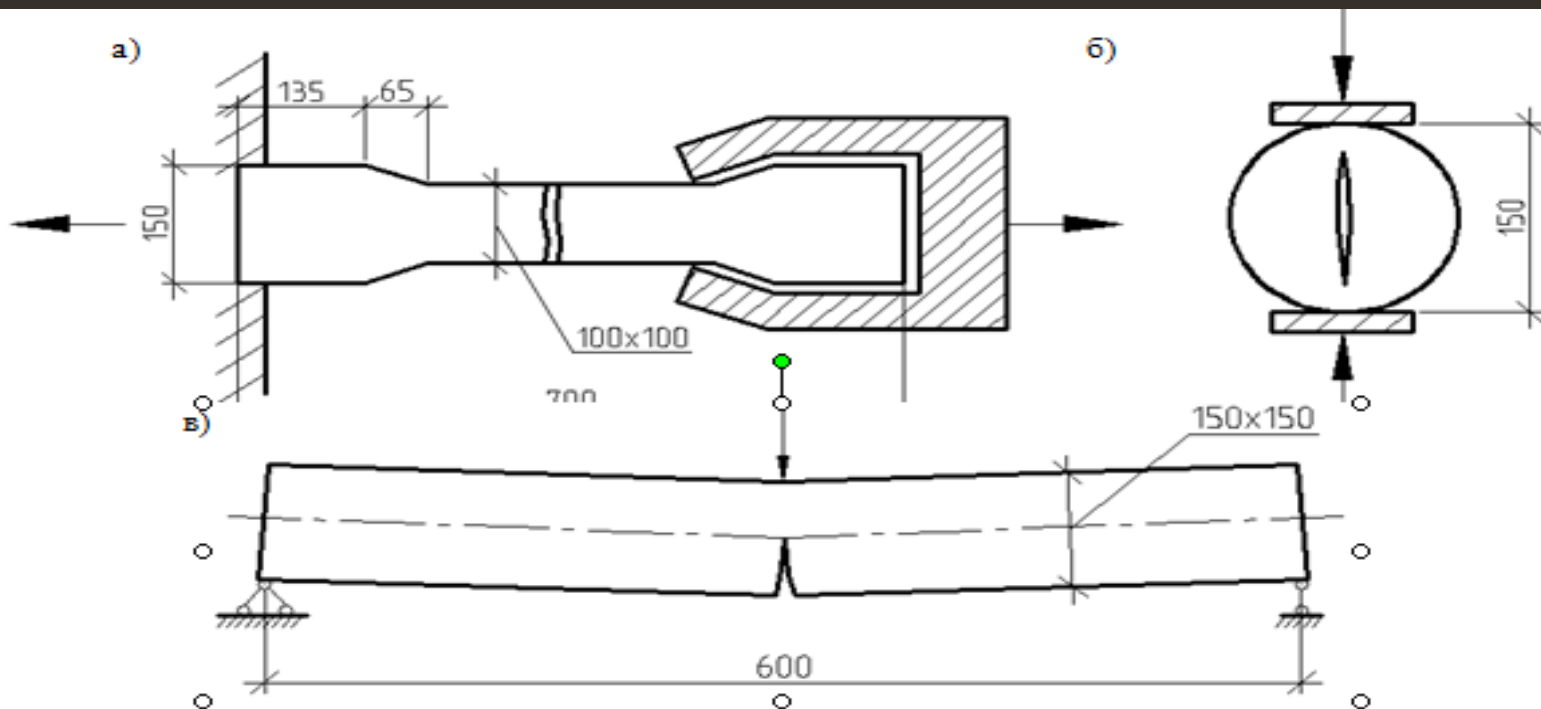


Рис. 4. Схемы испытания образцов для определения прочности бетона при осевом растяжении: а - на разрыв; б - на раскалывание; в - на изгиб.

2.2.4 Прочность бетона на срез и скалывание

На срез

$$R_{sh} = 2R_{bt}$$

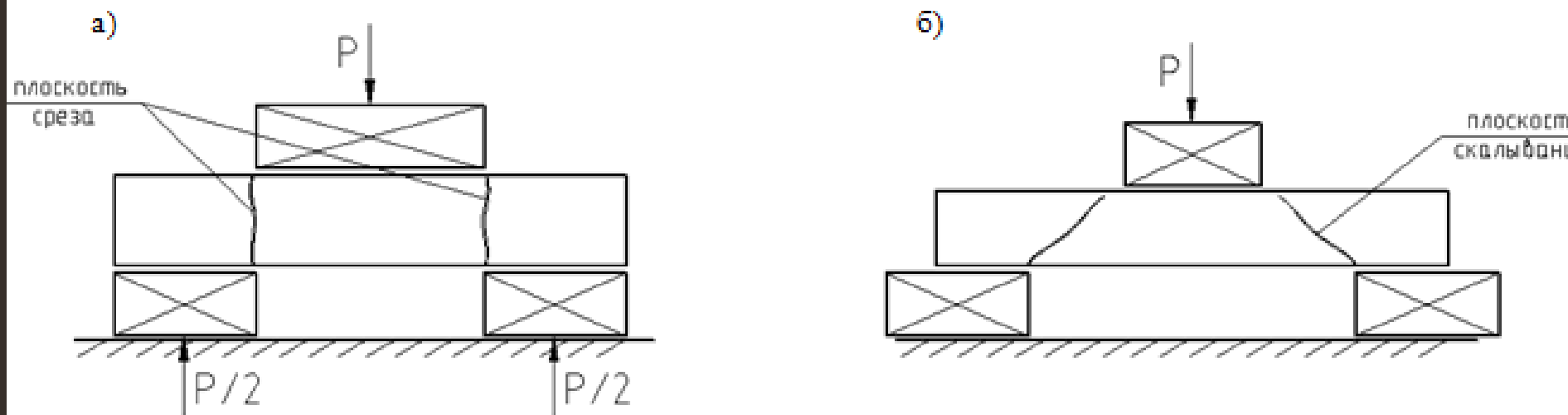


Рис. 5. Схемы испытания образцов на срез (а) и скалывание (б).

2.3 Прочностные характеристики бетонов

- R_b – сопротивление бетона сжатию
- R_{bt} – сопротивление бетона растяжению
- R_{bh} – сопротивление бетона срезу
- R_{bl} – сопротивление длительному напряжению
- R_{loc} – сопротивление местному сжатию

Таблица 6.8

Вид	Бетон	Расчетные сопротивления бетона R_b, R_{br} , МПа, для предельных состояний первой группы при классе бетона по прочности на сжатие																					
		B1,5	B2	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	B70	B80	B90	B100
Сжатие осевое (призмная прочность) R_b	Тяжелый, мелкозернистый и напрягающий	—	—	—	2,1	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0	37,0	41,0	44,0	47,5
	Легкий	—	—	1,5	2,1	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ячеистый	0,95	1,3	1,6	2,2	3,1	4,6	6,0	7,0	7,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Растяжение осевое R_{br}	Тяжелый, мелкозернистый и напрягающий	—	—	—	0,26	0,37	0,48	0,56	0,66	0,75	0,90	1,05	1,15	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,10	2,15	2,20
	Легкий	—	—	0,20	0,26	0,37	0,48	0,56	0,66	0,75	0,90	1,05	1,15	1,30	1,40	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ячеистый	0,09	0,12	0,14	0,18	0,24	0,28	0,39	0,44	0,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания

1 Значения сопротивлений приведены для ячеистого бетона средней влажностью 10 %.

2 Для мелкозернистого бетона на песке с модулем крупности 2,0 и менее, а также для легкого бетона на мелком пористом заполнителе значения расчетных сопротивлений R_{br} следует принимать с умножением на коэффициент 0,8.

3 Для поризованного бетона, а также для керамзитоперлитобетона на вспученном перлитовом песке значения расчетных сопротивлений R_{br} следует принимать как для легкого бетона с умножением на коэффициент 0,7.

4 Для напрягающего бетона значения R_{br} следует принимать с умножением на коэффициент 1,2.

5 Для тяжелых бетонов классов B70–B100 расчетные значения сопротивления осевому сжатию R_b и осевому растяжению R_{br} приняты с учетом дополнительного понижающего коэффициента $\gamma_{b,br}$, учитывающего увеличение хрупкости высокопрочных бетонов в связи с уменьшением деформаций ползучести

и равного $\gamma_{b,br} = \frac{360 - B}{300}$, где B – класс бетона по прочности на сжатие.

Расчетные значения сопротивления бетона осевому сжатию и осевому растяжению

$$R_b = \frac{R_{b,n}}{\gamma_b}$$

$$R_{bt} = \frac{R_{bt,n}}{\gamma_{bt}}$$

γ_b - коэффициент надежности по бетону при сжатии;

γ_{bt} - коэффициент надежности по бетону при растяжении

Прочность бетона при длительном действии нагрузки

Предел длительного сопротивления бетона R_{bl} - наибольшие статические неизменные во времени напряжения, которые он может выдерживать неограниченно долгое время без разрушения.

$$R_{bl} \approx 0.9R_b$$

Прочность бетона при многократно повторных нагрузках (подвижных или пульсирующих)

R_r - предел выносливости бетона - напряжение, при котором количество циклов нагрузки и разгрузки, необходимых для разрушения образца, составляет $> 1\ 000\ 000$.

Практический предел выносливости при количестве циклов $n = 2 \cdot 10^6$ имеет наименьшее значение $R_r = 0,5R_b$

Прочность при местном сжатии (смятии) $R_{b,loc}$

Передача давления только на часть площади конструкции (места опирания)

$$R_{b,loc} = \varphi_b R_b$$

$$\varphi_b > 1$$

2.4 Классы бетона

Класс – это ряд эталонных чисел на числовой оси, привязанных к прочности на сжатие и растяжение, задаваемых при проектировании с обеспеченностью 0,95 прочностных свойств.

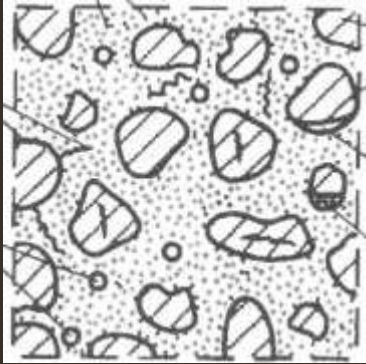
- Класс по прочности на сжатие B ;
в пределах от $B_{1,5}$ до B_{100} .
- Класс по прочности на осевое растяжение B_t ;
в пределах от $B_{t0,8}$ до B_{t4} .

Марки бетона

Марка оценивает основные физические свойства бетона (обеспеченность 50%).

- Марка по морозостойкости F (от $F 15$ до $F 1000$);
- Марка по водонепроницаемости W (от $W2$ до $W20$);
- Марка по средней плотности D (от $D 500$ до $D2000$);
- Марка по самоупрочению S_p - значение предварительного напряжения в бетоне (МПа)

ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА



- С физической точки зрения бетон представляет собой капиллярно-пористое тело, в котором присутствуют все три фазы: твердая, жидкая и газообразная.
- цементный камень, скрепляющий бетон, также неоднороден и состоит из упругого кристаллического состава и вязкой массы – геля, таким образом, это наделяет бетон упруго-пластично-ползучими свойствами

Виды деформаций бетона

1) Собственные деформации :

- бетонной смеси (первоначальная усадка),
 - затвердевшего бетона (усадка и набухание),
- возникающие под действием физико-химических процессов, протекающих в бетоне

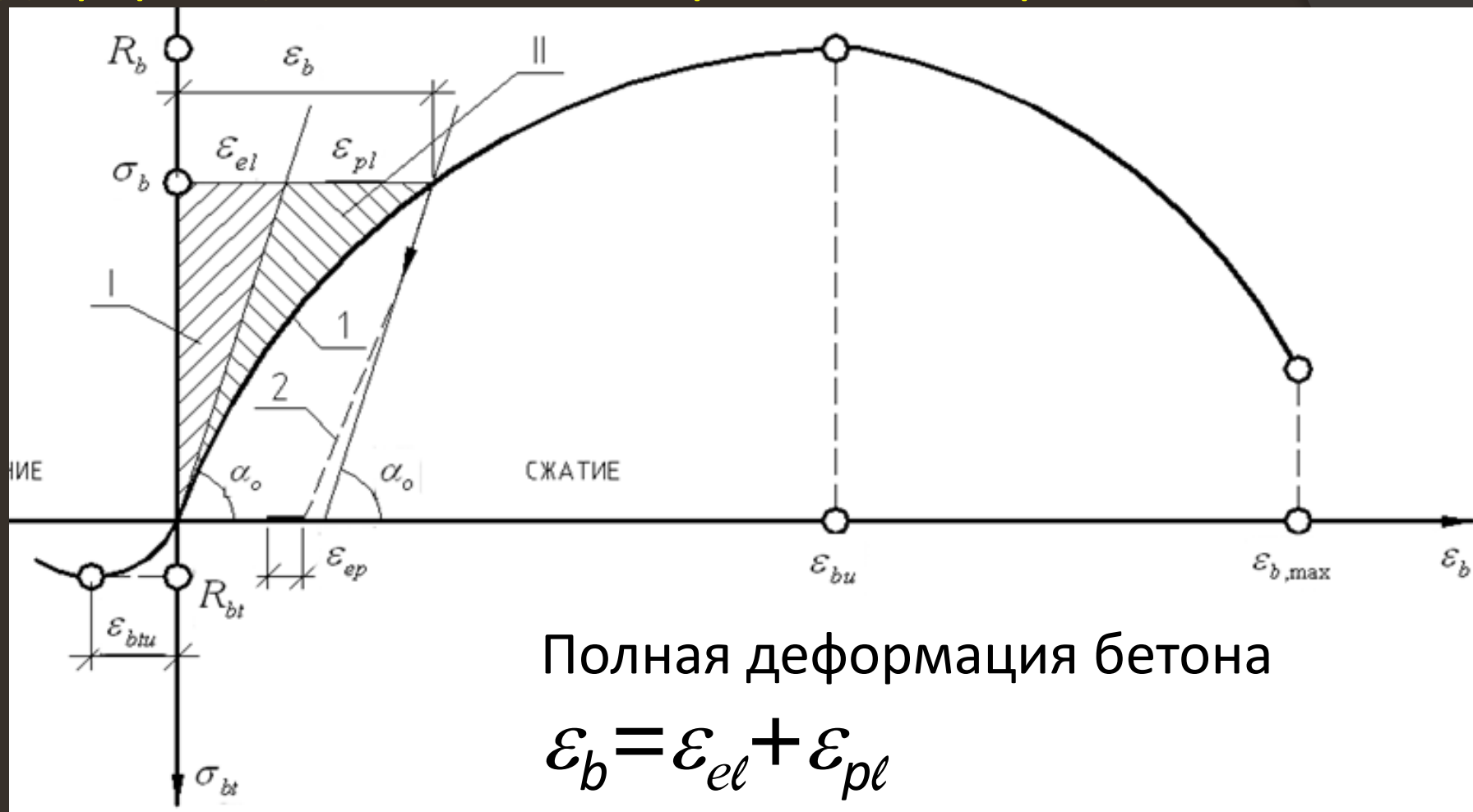
2) Деформации от действия внешних нагрузок:

- при однократном кратковременном нагружении;
- при длительном нагружении;
- при многократно повторных нагружениях.

3) Температурные деформации бетона.

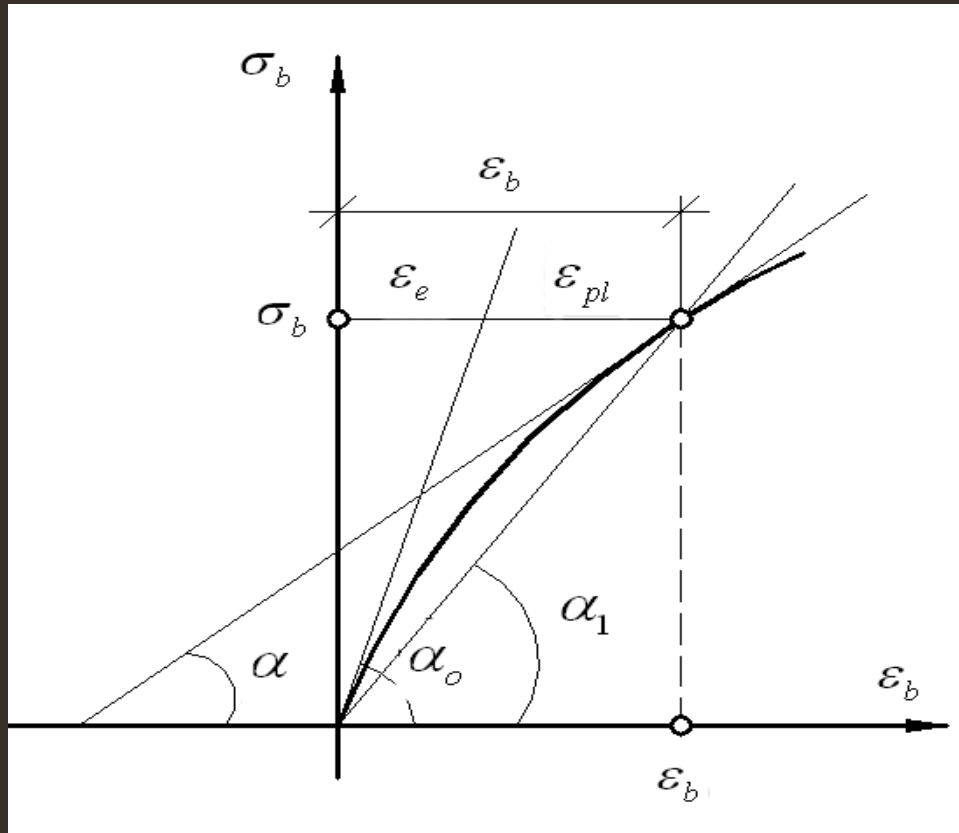
Нелинейное деформирование бетона - при малых напряжениях помимо **упругих** деформаций, развиваются **неупругие** остаточные или пластические деформации.

Диаграмма зависимости между напряжениями и деформациями в бетоне при сжатии и растяжении



I – область упругих деформаций; II – область пластических деформаций;
1 – загрузка; 2 – разгрузка; ϵ_{bu} – предельная сжимаемость; ϵ_{btu} – предельная растяжимость; ϵ_{ep} – доля неупругих деформаций, восстанавливающихся после разгрузки.

Модуль деформации бетона



Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям, возникающим при мгновенном нагружении:

$$E_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_{el}} \text{ или } E_b = \operatorname{tg} \alpha_0$$

Модуль полных деформаций бетона при сжатии соответствует полным деформациям; является величиной переменной:

$$E_b = \frac{d\sigma_b}{d\varepsilon_{el}} \text{ или } E_b = \operatorname{tg} \alpha$$

модуль упругопластичности бетона при сжатии – это величина, соответствующая тангенсу угла наклона секущей, проходящей через начало координат и точку на диаграмме полных деформаций

$$E'_b = \operatorname{tg} \alpha_1$$

Начальный модуль упругости бетона при сжатии E_b соответствует лишь упругим деформациям, возникающим при мгновенном нагружении – это величина, соответствующая тангенсу угла наклона касательной к функции диаграммы, проходящей через начало координат

Для расчёта железобетонных конструкций используют модуль упругопластичности (секущий модуль) бетона при сжатии E'_b – это величина, соответствующая тангенсу угла наклона секущей, проходящей через начало координат и точку на диаграмме полных деформаций

- Коэффициент пластичности бетона равен

$$\lambda = \frac{\varepsilon_{pl}}{\varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}}$$

- Коэффициент упругопластической деформации бетона равен

$$\nu = \frac{\varepsilon_{el}}{\varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}}$$

- Получим зависимость между текущим и начальным модулями

$$E'_b = \nu \cdot E_b$$

- Коэффициент упругопластической деформации можно выразить через коэффициент пластичности:

$$\nu = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{pl}}{\varepsilon_b} = 1 - \frac{\varepsilon_{pl}}{\varepsilon_b} = 1 - \lambda$$

2.6 Реологические свойства бетона

- ◎ Ползучесть
- ◎ Усадка
- ◎ Набухание
- ◎ Релаксация

Ползучесть – это свойство бетона, характеризующее нарастание неупругих деформаций с течением времени при длительном действии постоянной нагрузки.

Линейная – при $\sigma_b < 0,5R_b$

Нелинейная – при $\sigma_b > 0,5R_b$

Характеристика ползучести

$$\varphi = \epsilon_{pl}(t) / \epsilon_{el}$$

Набухание – это увеличение бетона в объеме при твердении его в воде.

Усадка – уменьшение размеров (со всех сторон) бетонного образца при потере влаги (воды) при твердении.

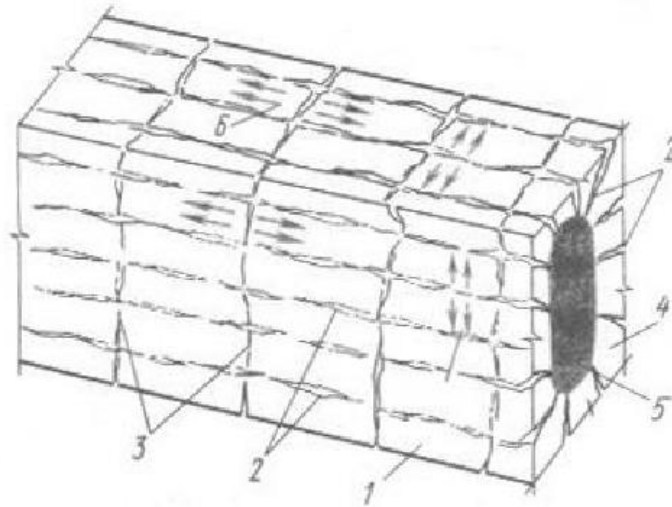


Рис. 2.12. Усадка бетона
1 – фрагмент бетонной балки; 2, 3 – продольные и поперечные усадочные трещины; 4 – наружный (высохший) слой; 5 – внутренний слой;
6 – растягивающие напряжения

Факторы, влияющие на размеры усадки бетона и изменение ее во времени:

- с увеличением цемента на единицу объема возрастает усадка;
- с увеличением водоцементного отношения (В/Ц) усадка увеличивается;
- чем выше влажность при твердении бетона, тем больше усадка

Наибольшее влияние усадка оказывает в начальный период твердения

Релаксация – это уменьшение с течением времени напряжений при постоянной деформации.

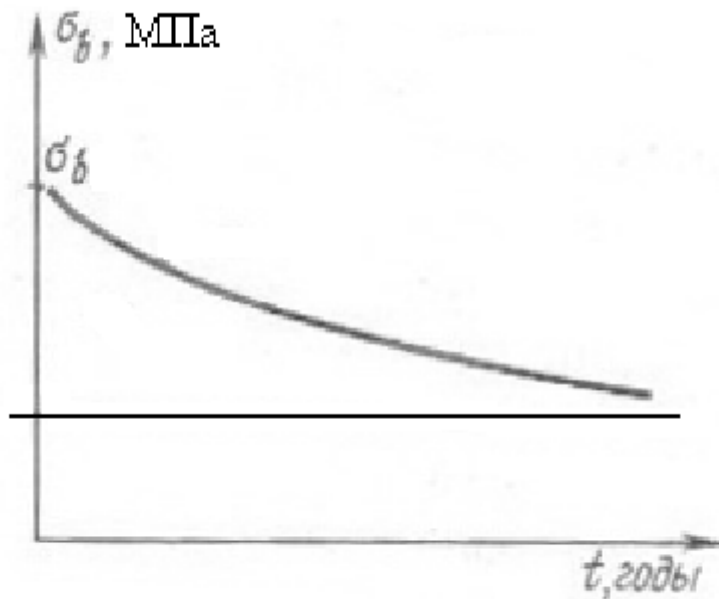


Рис. 2.15. Снижение напряжений с течением времени

*

Реология (от греч. $\rho\acute{\epsilon}\omicron\varsigma$, «течение, поток» и *-логия*) — раздел физики, изучающий деформации и текучесть вещества. Изучая деформационные свойства реальных тел, реология занимает промежуточное положение между теорией упругости и гидродинамикой. Термин «реология» ввёл американский учёный Юджин Бингам.

Типичное увеличение деформации (ползучесть) при постоянном значении приложенной силы F с течением времени t . (2) Типичный график релаксации - уменьшения усилия при постоянной деформации с течением времени.

Исходные понятия реологии — ньютоновская жидкость, вязкость которой не зависит от режима деформирований, и *идеально упругое тело*, в котором в каждый момент времени величина деформации пропорциональна приложенному напряжению. Эти понятия были обобщены для тел, проявляющих одновременно пластичные (вязкостные) и упругие свойства. Практические приложения реологии описывают поведение конкретных материалов при нагрузках и при течении.