



**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЖБК.
БЕТОНЫ.**

1. Классификация бетонов

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

К прочностным свойствам бетона относятся нормативные и расчетные характеристики бетона при сжатии и растяжении, сцеплении 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.

Классификация бетона:

- по основному назначению на:

***конструкционные** – бетоны несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, определяющими требованиями к качеству которых являются требования по физико-механическим характеристикам;*

***специальные** – бетоны, к которым предъявляются специальные требования в соответствии с их назначением.*

К специальным бетонам относятся жаростойкие, химические стойкие, декоративные, радиационно-защитные, теплоизоляционные и др. бетоны.

- по виду вяжущего на:

- цементные (на основе клинкерных цементах);
- известковые (на основе извести в сочетании с цементами, шлаками, золами, активными минеральными добавками);
- шлаковые (на основе молотых шлаков и зол с активизаторами твердения);
- гипсовые (на основе полуводного гипса или ангидрита, включая гипсоцементно-пуццолановые и т.п. вяжущие);
- специальные (бетонополимеры, полимербетоны, цементно-полимерные бетоны).

- по плотности на:

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

- по виду заполнителей на:

- плотных заполнителях (плотные горные породы и шлаки);

- пористых заполнителях (искусственные и естественные минеральные пористые заполнители, а также пористые крупные и плотные мелкие заполнители);

- специальных заполнителях (органические заполнители)

- по условиям твердения на бетоны, твердевшие:

- в естественных условиях;

- в условиях тепловлажностной обработки при атмосферном давлении;

- в условиях тепловлажностной обработки при давлении выше атмосферного (автоклавного твердения).

- по структуре на:

- **плотные** – бетоны плотной структуры на цементном вяжущем и плотных мелких заполнителях;
- **крупнопористые** – бетоны, у которых пространство между зернами крупного и мелкого заполнителя не полностью заполнено или совсем не заполнено мелкими заполнителями и затвердевшими вяжущими, поризованными добавками, регулирующих пористость в объеме более 7 %.
- **поризованные** – бетоны, у которых пространство между зернами крупного и мелкого или только мелкого заполнителя заполнено затвердевшим вяжущим и порами вовлеченного газа или воздуха, в том числе образующихся за счет применения добавок, регулирующих пористость в объеме не более 7 %;
- **ячеистые** – бетоны, у которых основную часть объема составляют равномерно распределенные поры в виде ячеек, полученных с помощью газо- или пенообразователей;

2. Структура бетона и его влияние на прочность и деформативность

Рассмотрим диаграмму начала и конца трещинообразования бетона (рис. 2.1)

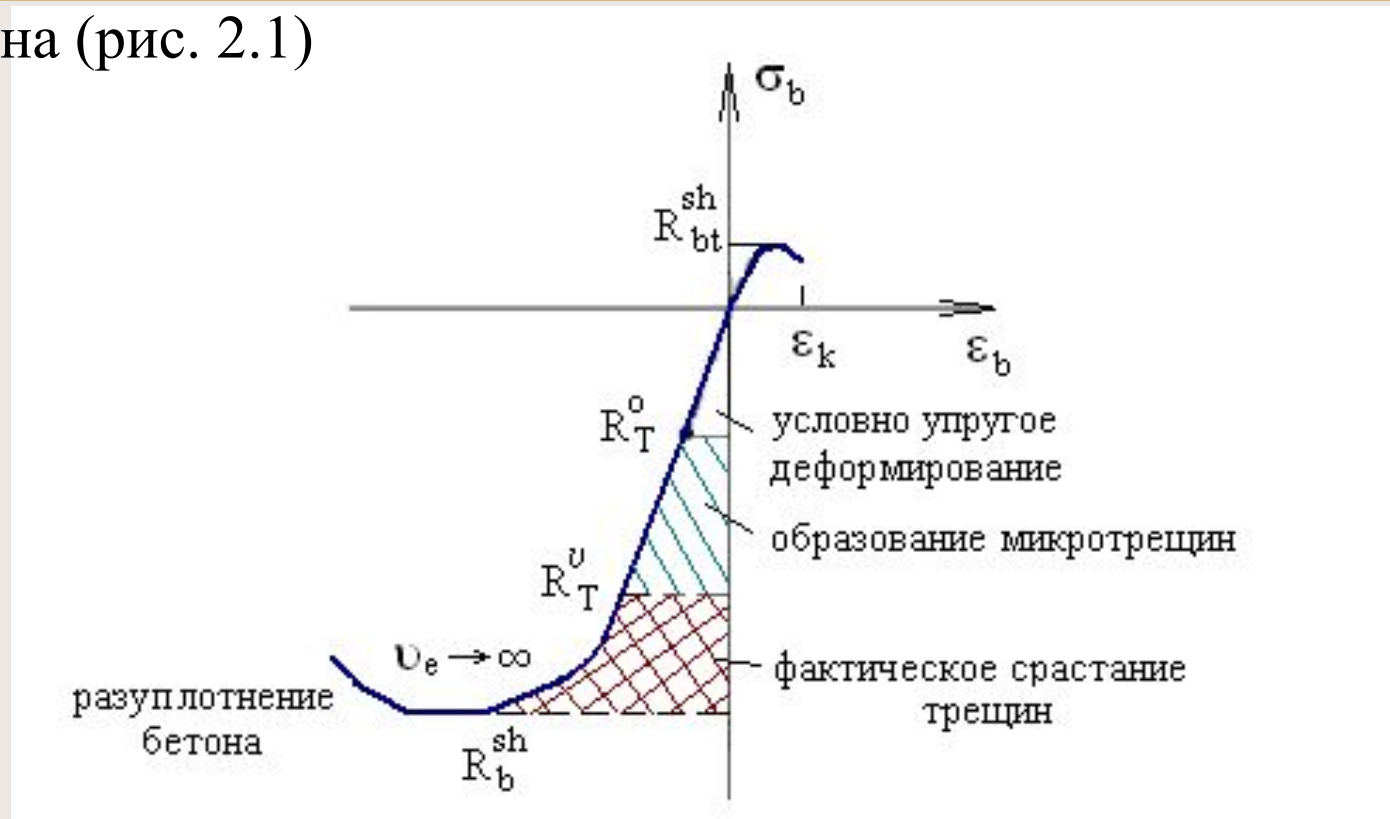


Рис. 2.1. Диаграмма начала и конца трещинообразования

R_T^o – начало микротрещинообразования;

R_T^v – конец микротрещинообразования.

$R_b^{(\boxtimes)}$ – предел длительной прочности бетона

$$R_T^v \approx R_b^{(\boxtimes)}$$

R_b^{sh} – предел кратковременной прочности бетона
(диапазон уплотнения бетона)

$$\nu = \frac{\varepsilon_{e\boxtimes}}{\varepsilon_{e\boxtimes} + \varepsilon_{p\boxtimes}}$$

ν – коэффициент
упругопластичности

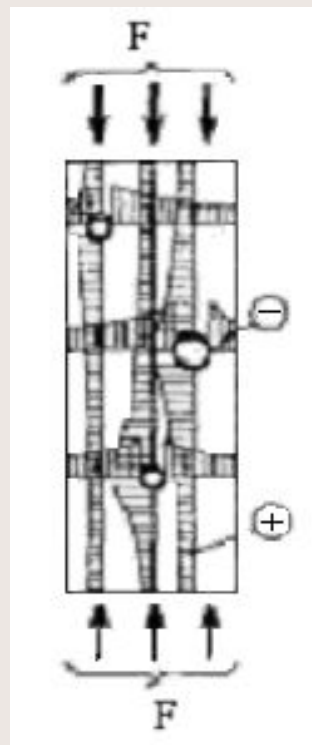
и;

$\varepsilon_{e\boxtimes}$ – упругие деформации;

$\varepsilon_{p\boxtimes}$ – неупругие (пластические)
деформации;

Вокруг пор и пустот при одноосном сжатии образуются по продольным площадкам растягивающие структурные напряжения, уравновешенные сжимающими напряжениями. Вследствие частого и хаотического расположения пустот происходит взаимное наложение растягивающих напряжений, а это приводит к появлению и развитию микротрещин задолго до его разрушения (рис. 2.2).

а)



б)

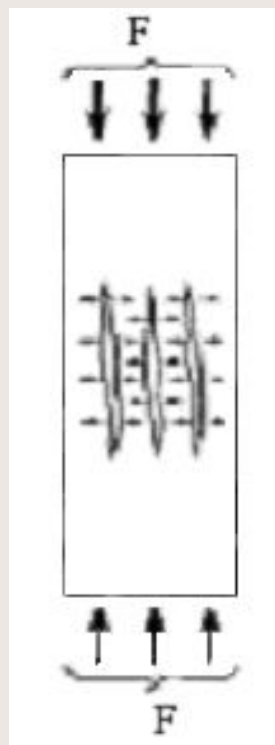
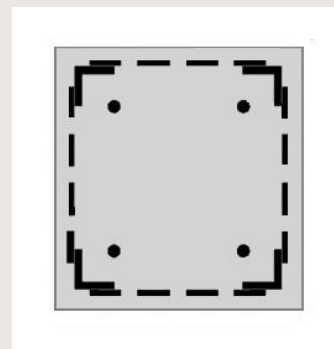
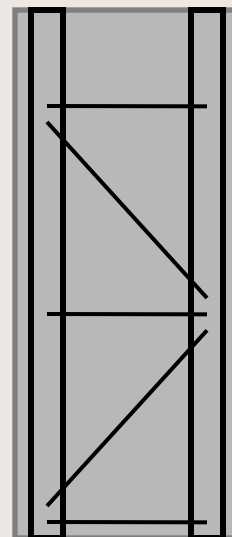
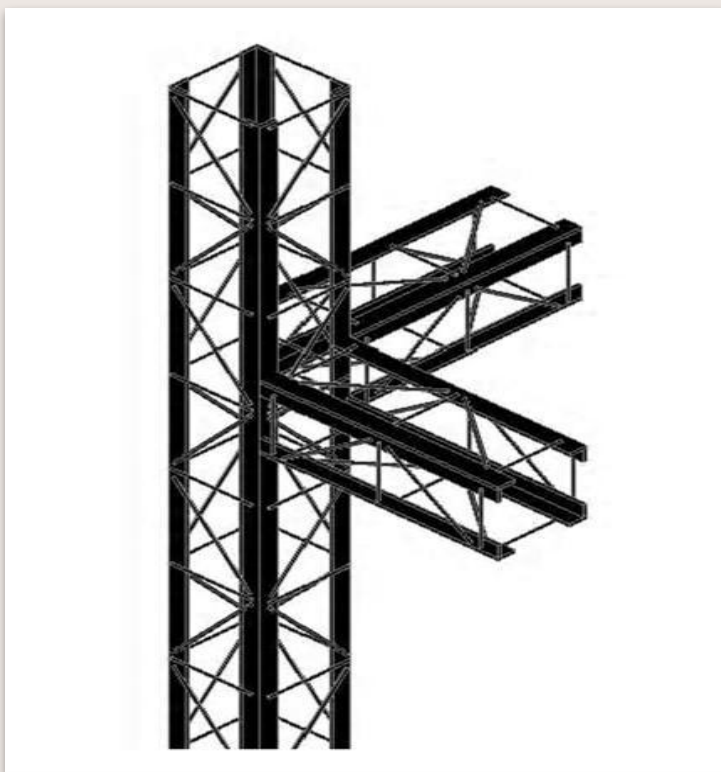


Рис. 2.2. Схема образования трещин
а) – концентрация напряжений у микро- и макропор;
б) – разрыв бетона в поперечном направлении

Сжатые элементы с внутренней обоймой



На прочность бетона большое влияние оказывает скорость нагружения образцов (рис. 2.3).

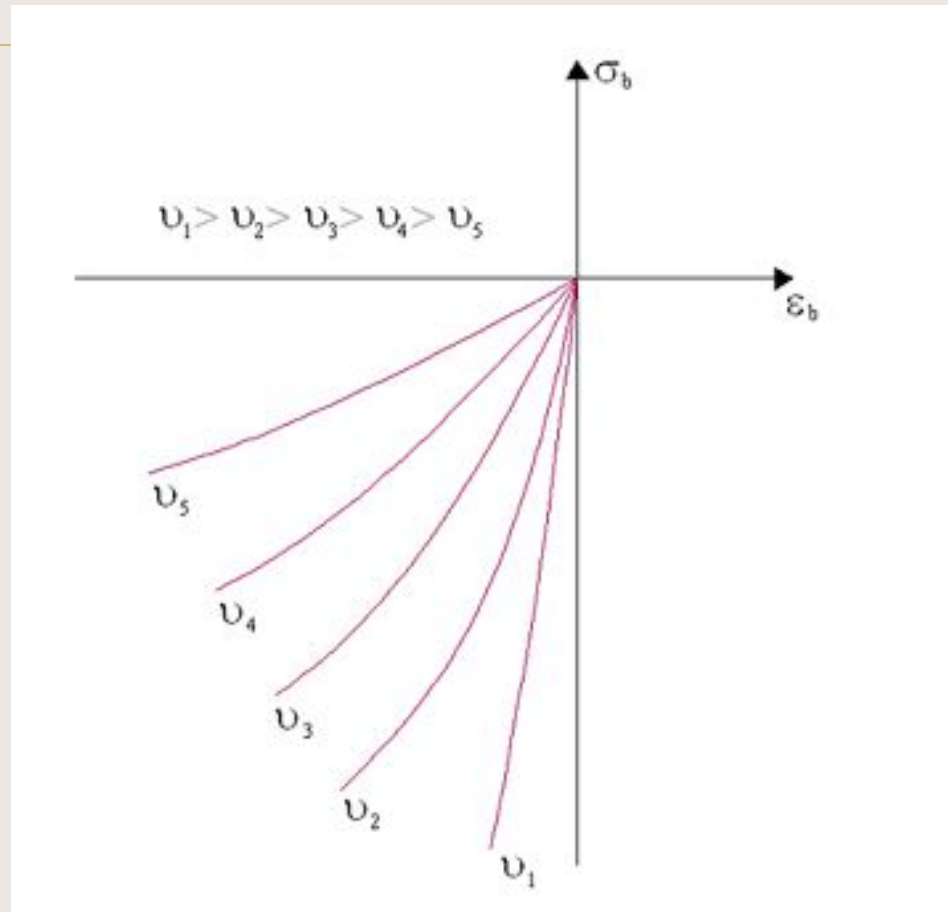


Рис. 2.3. Диаграмма скоростей нагружения

3. Кубиковая и призмная прочность

Для оценки кубиковой прочности применяют раздавливание на прессе изготовленных в тех же условиях, что и реальные конструкции кубов бетона. За стандартные образцы принимают кубы размерами 150x150x150 мм, испытание которых происходит при температуре 20 ± 2 °С через 28 дней твердения в нормальных условиях.

Опытами установлено, что прочность бетона одного и того же состава зависит от размера куба:

если кубиковая прочность бетона для базового куба с ребром **150** мм равно **R** (рис. 2.4), то для куба с ребром **200** мм оно уменьшается до **0,93 × R**

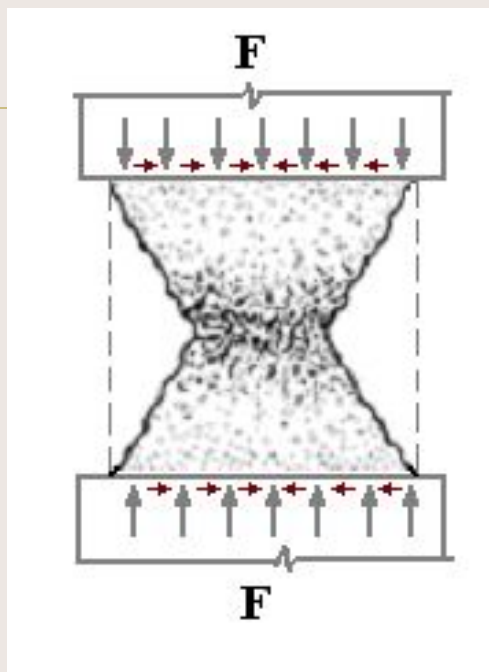
Для куба с ребром **100** мм – увеличивается до **1,1 × R**

Вблизи опорных плит силы трения, направленные внутрь образца, создают обойму, следовательно, увеличивается прочность образцов при сжатии.

Удерживающее влияние сил трения по мере удаления от торцов снижается, таким образом, бетонный куб при разрушении получает форму двух усеченных пирамид, обращенных друг к другу вершинами (рис. 2.5, а). При уменьшении сил трения посредством смазки характер разрушения меняется (рис. 2.5, б): вместо выкалывания с боков образца пирамид происходит раскалывание его по трещинам, параллельным направлению действия усилия.

При этом временное сопротивление бетона сжатию уменьшается.

а)



б)

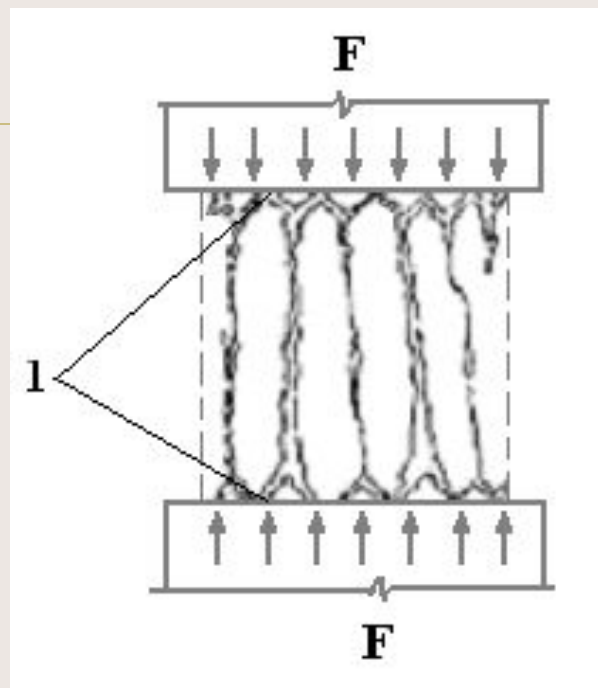


Рис. 2.5. Схема деформирования бетона при сжатии

а) – при наличии трения по опорным плоскостям;

б) – при отсутствии трения;

1 – смазка

Поскольку железобетонные конструкции по форме отличаются от кубов, в расчетах их прочности не может быть непосредственно использована кубиковая прочность бетона.

Основной характеристикой прочности бетона сжатых элементов является *призменная прочность R_b*

Опыты на бетонных призмах со стороной основания a и высотой h показали, что призменная прочность R_b меньше кубиковой R и она уменьшается с увеличением отношения h / a

Кривая, приведенная на рис. 2.6, иллюстрирует зависимость $\frac{R_b}{R}$ от $\frac{h}{a}$ по усредненным опытным данным.

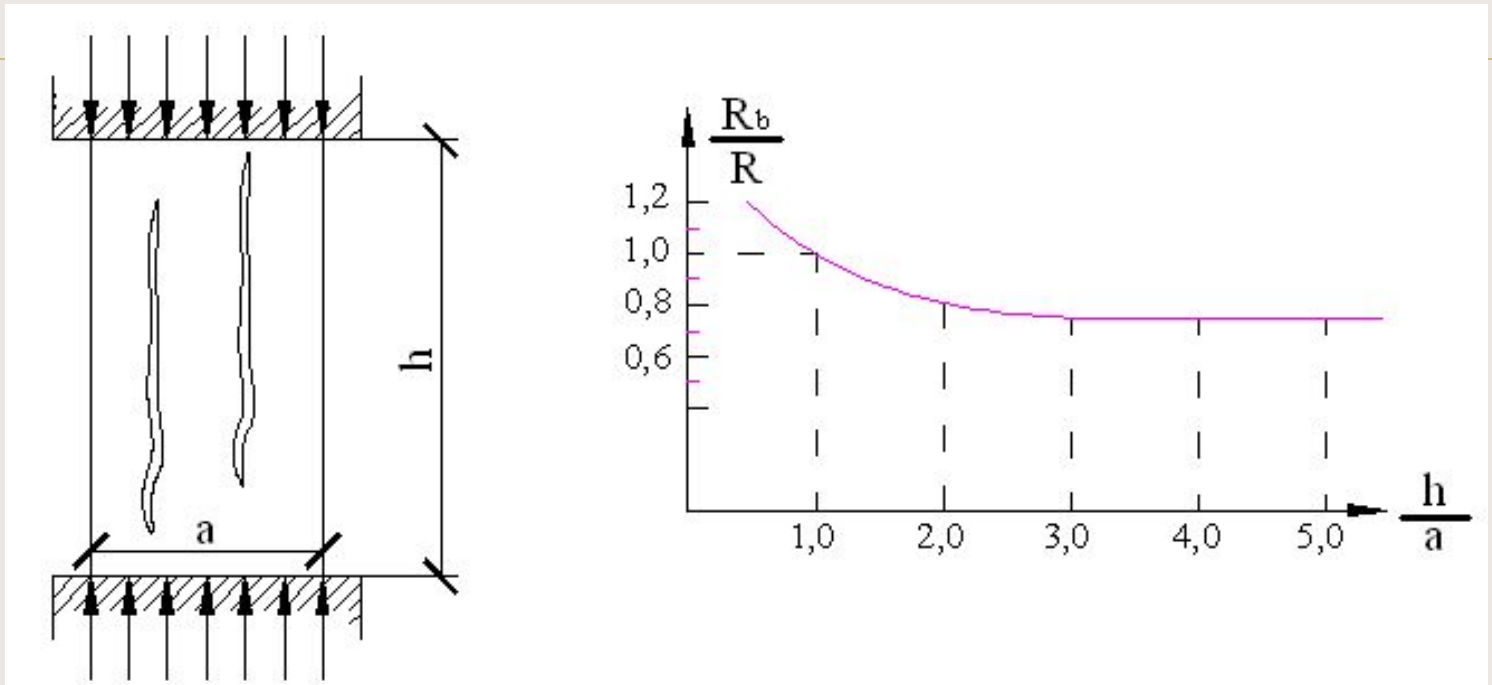


Рис. 2.6. График зависимости призмочной прочности бетона от отношения размеров испытываемого образца



Таким образом, **призменная прочность R_b** – это временное сопротивление осевому сжатию призмы R_{bu} с отношением сторон $\frac{h}{a} = 4$

4. Прочность бетона на осевое растяжение

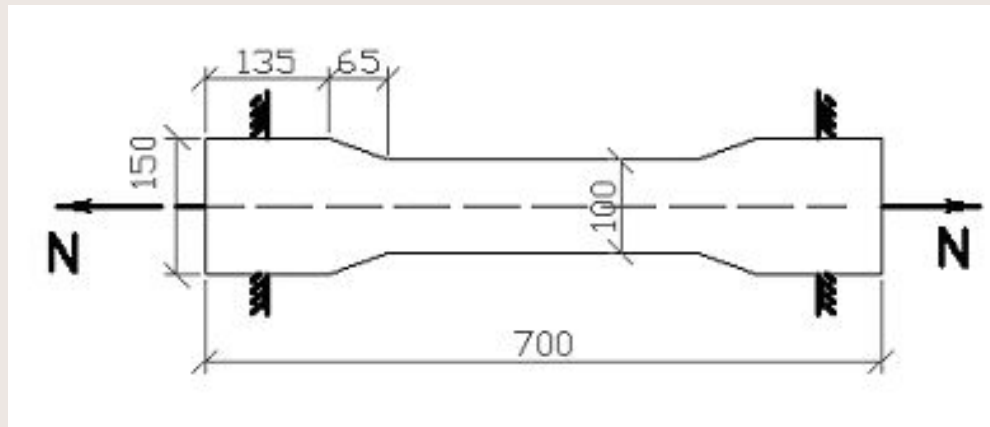
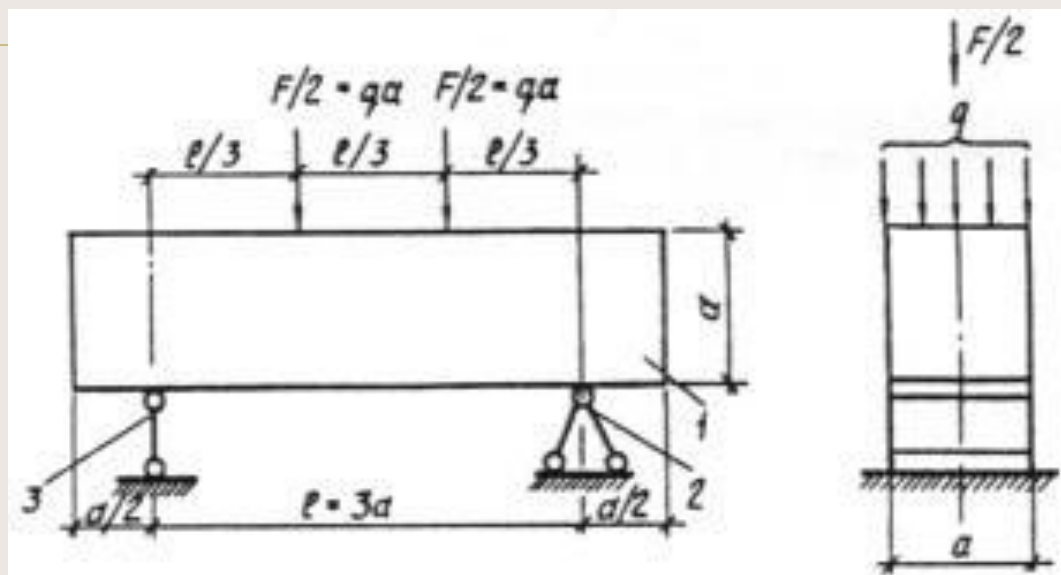


Рис. 2.7. Схема испытания образца для определения прочности бетона при осевом растяжении на разрыв



$$R_{\text{ф}} = \delta \frac{Fl}{ab^2} k_w,$$

Схема испытания на растяжение при изгибе



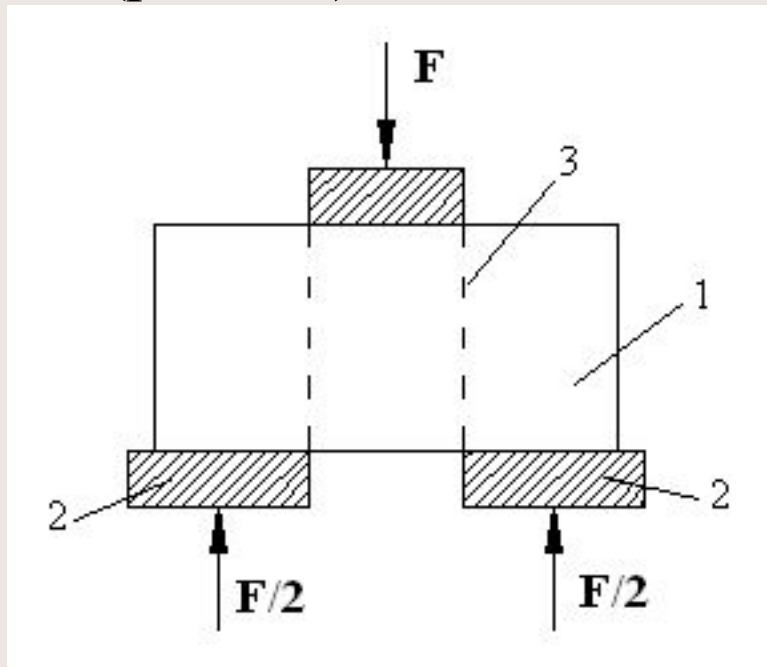
Прочность бетона, следует вычислять по формуле:

$$R_{\text{ф}} = \delta \frac{Fl}{ab^2} k_w,$$

согласно ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

5. Прочность бетона на срез и скалывание

Чистый срез – это разделение элемента на части по сечению, к которому приложены перерезывающие силы. В железобетонных конструкциях чистый срез встречается редко; обычно он сопровождается действием нормальных сил (рис. 2.8).



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

Рис. 2.8. Схема испытания бетонного образца на срез
1 – испытуемый образец;
2 – неподвижные стальные опоры;
3 – плоскость среза

Чистое скалывание – взаимное смещение (сдвиг) частей элемента между собой под действием скалывающих (сдвигающих) усилий.

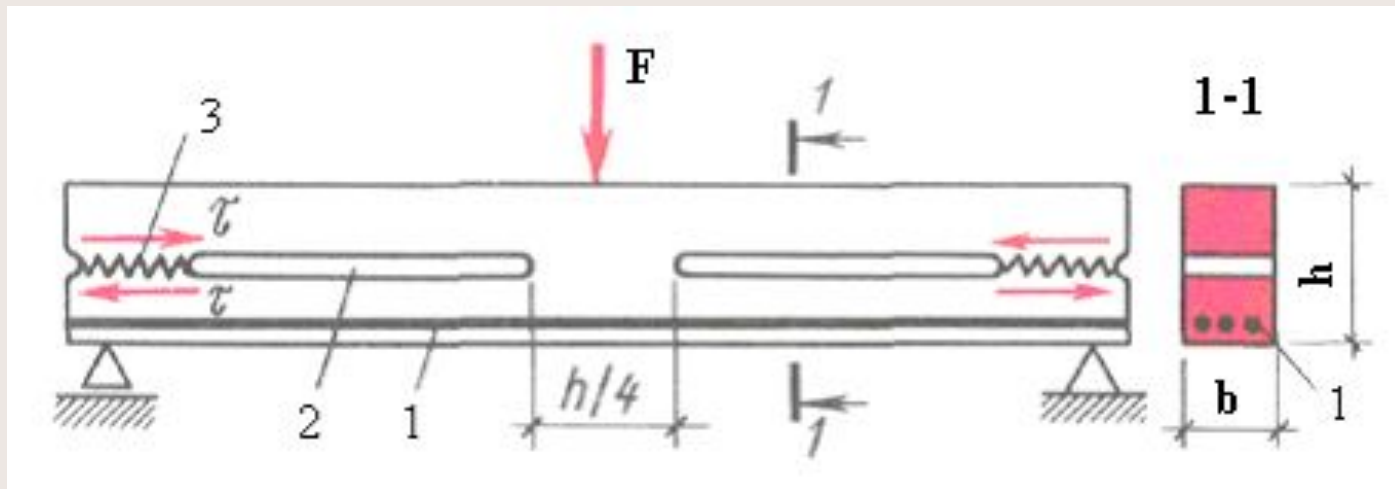


Рис. 2.9. Схема испытания бетонного образца на скалывание
1 – рабочая арматура;
2 – прорезы (щели);
3 – участки, где происходит скалывание бетона

$$R_{\text{скал}} \approx (1,5 \div 2) \times R_{bt}$$

6. Классы и марки бетона

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

Марка оценивает основные физические свойства бетона (обеспеченность 0,5 физических свойств).

Значение класса бетона по прочности на сжатие – это значение, полученное при испытании кубов с размерами ребра 150 мм, испытанных в соответствии со стандартами в течение 28 суток при температуре 20 ± 2 °C с учетом 95% обеспеченности прочностных свойств

Среднее значение временного сопротивления бетона сжатию, установленное при испытании партии стандартных образцов, определяют по зависимости:

$$R_m = \frac{n_1 \times R_1 + n_2 \times R_2 + \dots + n_k \times R_k}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

где n_1, n_2, \dots, n_k — число случаев, в которых было установлено временное сопротивление соответственно R_1, R_2, \dots, R_k

Среднее квадратичное отклонение прочности бетона – это величина, характеризующая разброс прочности экспериментальных значений.

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i \times (R_i - R_m)^2}{n - 1}}$$

Коэффициент вариации прочности бетона – это отношение среднего квадратичного отклонения прочности бетона к среднему значению временного сопротивления бетона сжатию.

$$V_m = \frac{\sigma_m}{R_m}$$

Опытные исследования для тяжёлых, мелкозернистых и легких бетонов показали, что коэффициент вариации прочности бетона при сжатии $v_m = 0,135$. При показателе надежности $\alpha = 1,64$, который характерен для обеспеченности 95% прочностных свойств (правило «двух сигм»), коэффициент вариации бетона по прочности на сжатии определяют по формуле:

$$B = R_m - \alpha \times \sigma_m \quad \text{или} \quad B = R_m \times (1 - \alpha \times v_m)$$

Таким образом, гарантированная прочность заданного класса бетона на сжатие равна:

$$B = R_m \times (1 - 1,64 \times 0,135) = 0,78 \times R_m$$

На рис. 2.10 показана кривая распределения прочности.

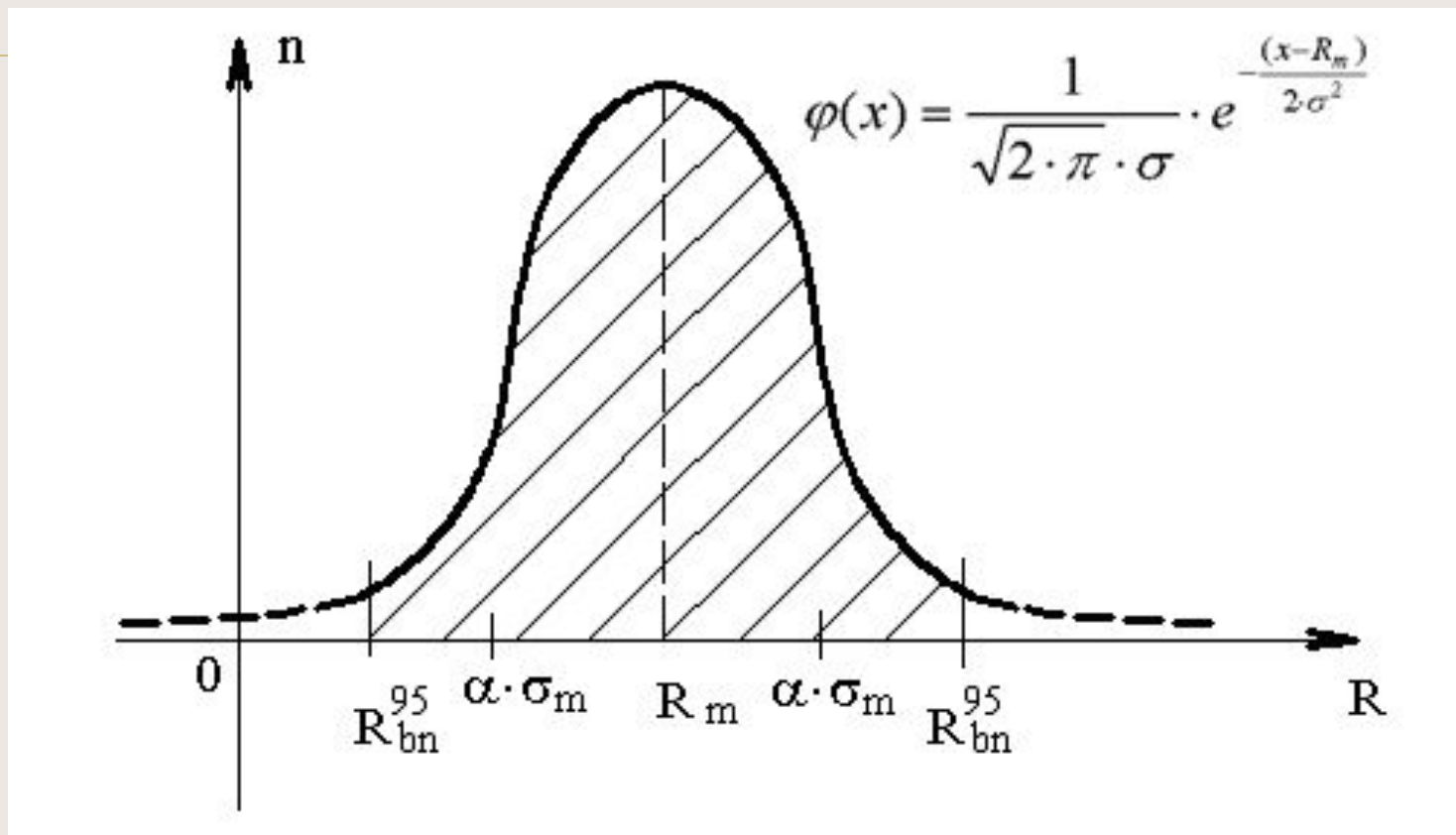


Рис. 2.10. Кривая распределения прочности

Марка бетона по морозостойкости F – число выдерживаемых циклов попеременного замораживания и оттаивания водонасыщенных образцов, испытанных в соответствие со стандартом, при котором прочность падает не более чем на 15% по сравнению с прочностью образца, не подвергающегося замораживанию.

Старые нормы СНиП 2.03.01 – 84* «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливали марки бетона по морозостойкости от $F 15$ до $F 500$.
Новые нормы СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливают марки бетона по морозостойкости от $F 15$ до $F 1000$.

Для каждого конкретного случая марку бетона по морозостойкости принимают в зависимости от расчетной зимней температуры наружного воздуха, условий работы и класса зданий.

Марка бетона по водонепроницаемости W – это наибольшее давление воды (МПа), при котором не наблюдается её просачивания через стандартный образец, изготовленный по ГОСТу.

Эту марку принимают для конструкций, к которым предъявляют особые ограничения водонепроницаемости (резервуары, напорные трубы, силосы).

Старые нормы СНиП 2.03.01 – 84* «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливали марки бетона по водонепроницаемости от W_2 до W_{12} .

Новые нормы СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливают марки бетона водонепроницаемости от W_2 до W_{20} , где цифрам обозначают давление воды, при котором коэффициент фильтрации (м/с) не превышает нормативного значения.

Марка бетона по средней плотности D – это гарантированная собственная масса бетона ($\text{кг}/\text{м}^3$), контролируемая на базовых образцах в установленные сроки согласно ГОСТу.

Марку по средней плотности принимают для конструкций, к которым предъявляют требования теплоизоляции.

Старые нормы СНиП 2.03.01 – 84* «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливали марки бетона по средней плотности от $D 700$ до $D 2500$.

Новые нормы СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливают марки бетона по средней плотности от $D 200$ до $D 5000$, где цифры обозначают плотность бетона.

Марка бетона по самоупрессению S_p – это гарантированное значение предварительного напряжения в бетоне (МПа), создаваемое в результате его расширения при наличии продольной арматуры в количестве 1% и контролируемое на базовых образцах в установленные сроки согласно ГОСТу.

Марку бетона по самоупрессению принимают в зависимости от предъявляемых к самоупрессающимся конструкциям требований по трещиностойкости и жесткости.

7. Модуль деформации бетона и мера ползучести

Начальный модуль деформаций бетона при сжатии E_b

– это величина, соответствующая тангенсу угла наклона касательной к кривой деформаций при условии, что $\varepsilon = 0$ (рис.2.11)

$$E_b = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_{e\boxtimes}} \quad \text{или} \quad E_b = \operatorname{tg}\alpha_0$$

Модуль касательных деформаций бетона при сжатии E_b^A

– это величина, соответствующая тангенсу угла наклона касательной к кривой деформаций в любой заданной точке (рис.2.11) .

$$E_b^A = \operatorname{tg}\alpha_1$$

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 (рис. 2.11).

$$E'_b = \operatorname{tg} \alpha_2$$

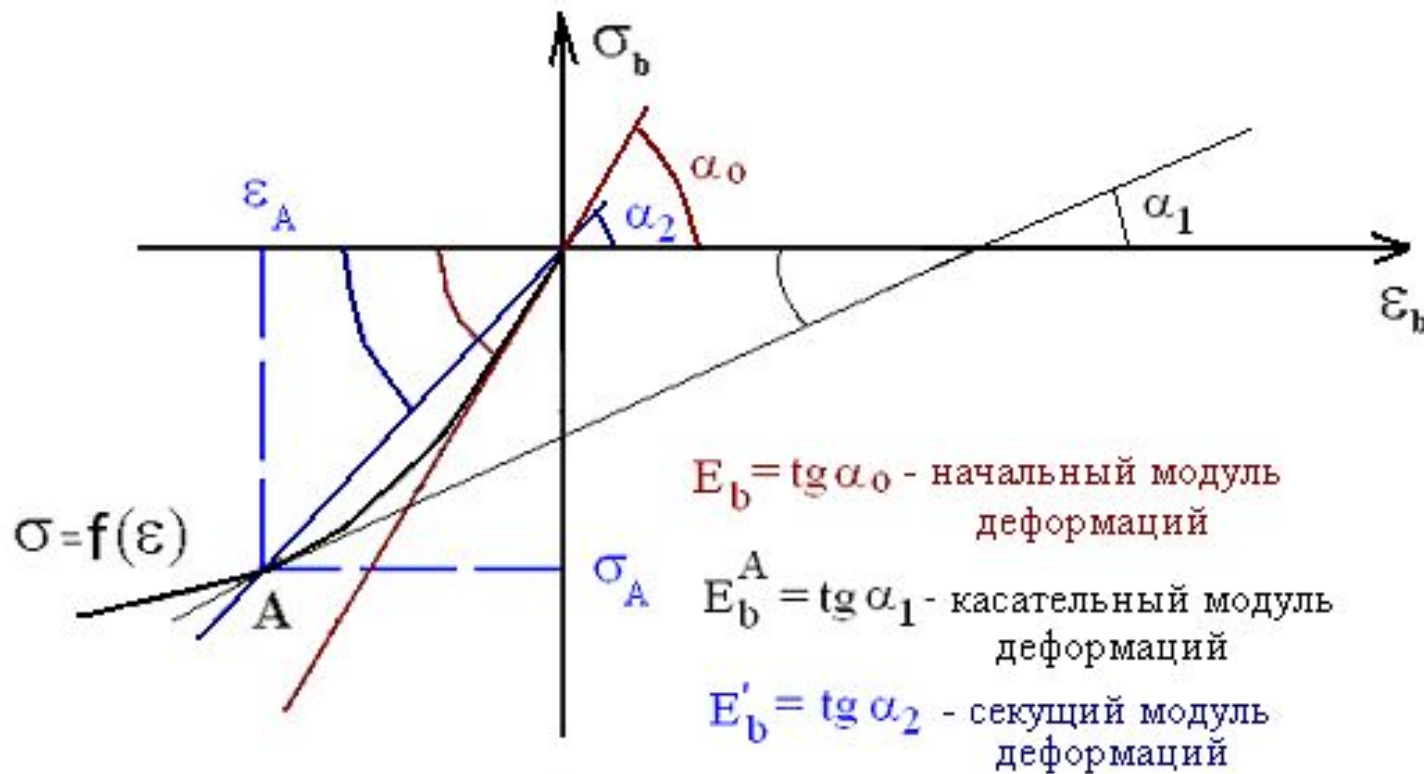


Рис. 2.11. Схема для определения модулей деформаций в бетоне

Если выразить одно и то же напряжение σ_b через упругие деформации $\varepsilon_{e\boxtimes}$ и полные деформации $\varepsilon_{e\boxtimes} + \varepsilon_{p\boxtimes}$, то

$$\sigma_b = \varepsilon_{e\boxtimes} \cdot E_b = (\varepsilon_{e\boxtimes} + \varepsilon_{p\boxtimes}) \cdot E'_b$$

Коэффициент пластичности бетона равен

$$\lambda = \frac{\varepsilon_{p\boxtimes}}{\varepsilon_{e\boxtimes} + \varepsilon_{p\boxtimes}}$$

Коэффициент упругопластической деформации бетона равен

$$\nu = \frac{\varepsilon_{e\boxtimes}}{\varepsilon_{e\boxtimes} + \varepsilon_{pl}}$$

Используя вышезаписанное, получим зависимость между секущим и начальным модулями

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

Зависимость между напряжениями и деформациями ползучести выражаются *мерой ползучести* C_b .

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E'_b} = \frac{\sigma_b}{\nu \cdot E_b} \quad \varphi = \frac{\lambda}{\nu}$$

$$\varepsilon_{p\boxtimes} = \lambda \cdot \varepsilon_b = \frac{\lambda}{\nu} \cdot \frac{\sigma_b}{E_b} = \varphi \cdot \frac{\sigma_b}{E_b} = C_b \cdot \sigma_b$$

Мера ползучести – это удельная деформация ползучести.

8. Реологические свойства бетона

Усадка – это уменьшение бетона в объеме при твердении в обычной (воздушной) среде (рис.2.12).

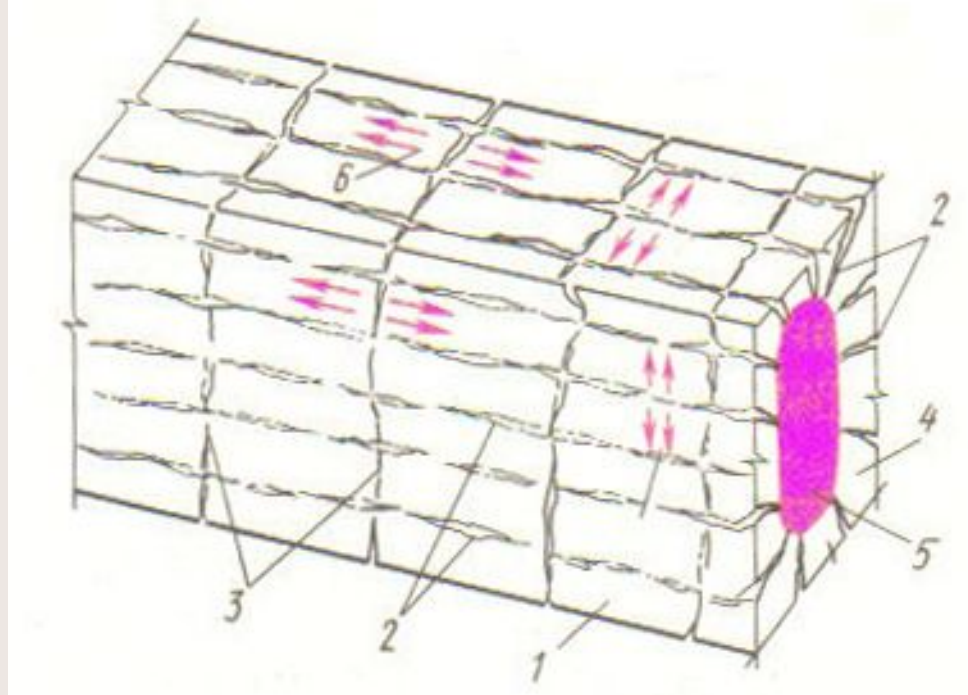
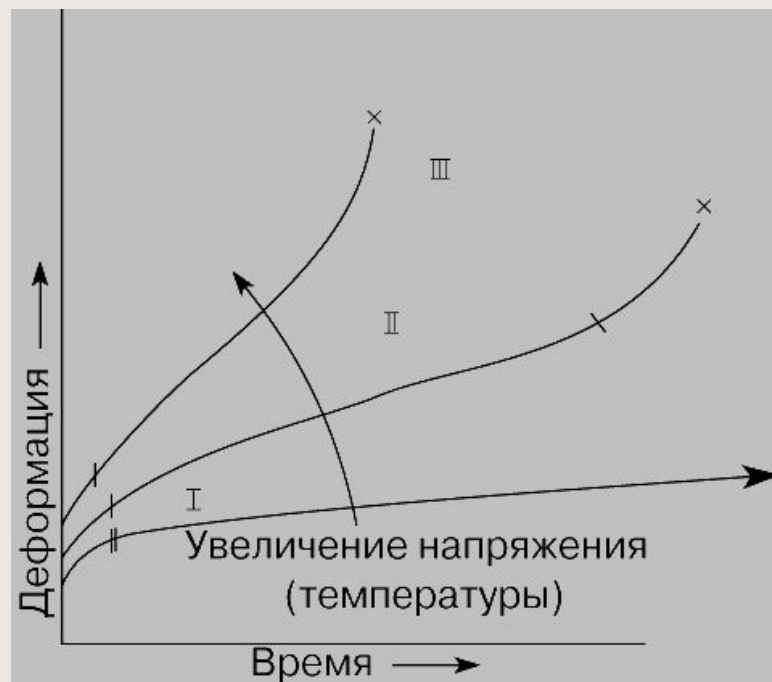


Рис. 2.12. Усадка бетона

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

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

Ползучесть – это свойство бетона, характеризующее нарастание неупругих деформаций с течением времени при постоянных напряжениях.



Опыты с бетонными призмами показывают, что независимо от того, с какой скоростью загрузка было получено напряжение, конечные деформации ползучести, соответствующие этому напряжению, будут одинаковыми.

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

Если бетонному образцу задать некоторую деформацию ε_b обуславливающую соответствующее напряжение, а затем устранить возможность дальнейшего деформирования наложением связей, то с течением времени напряжения в бетоне будут уменьшаться, стремясь асимптотически к некоторой конечной величине σ_b .

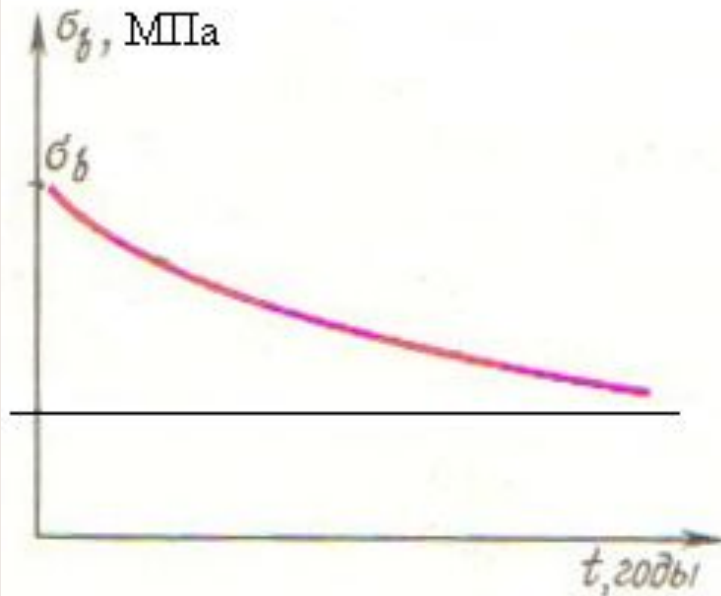
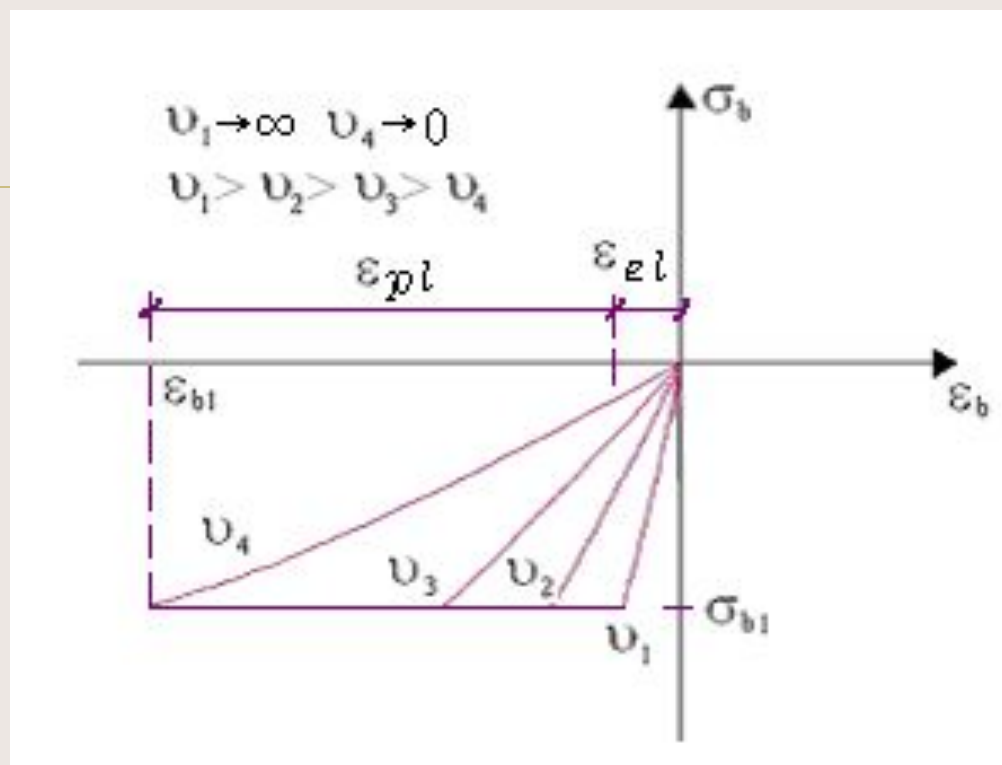


Рис. 2.13. Снижение напряжений с течением времени



**Рис. 2.14. Деформации ползучести бетона
 в зависимости от скорости
 начального нагружения**

Если испытываемый образец загрузить по этапам и замерять деформации на каждой ступени дважды (сразу после приложения нагрузки и через некоторое время), то получится ступенчатая линия. Деформации, измеренные сразу, являются упругими. При достаточно большом числе ступеней загрузки зависимость становится плавной кривой $\sigma_b - \varepsilon_b$.

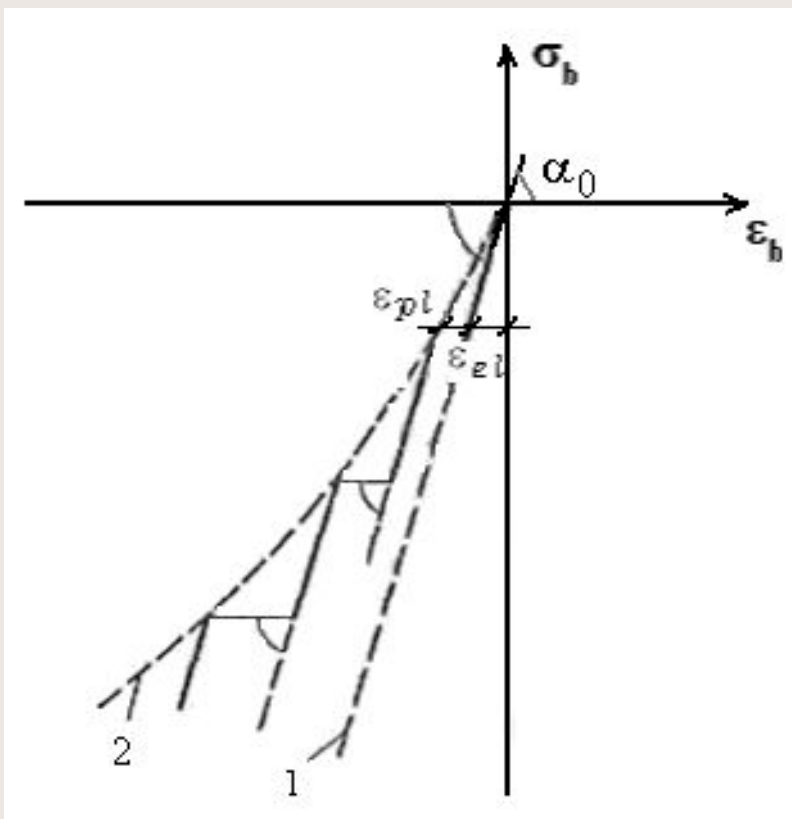


Рис. 2.15. Диаграмма в сжатом бетоне σ при ε_b различных этапах загрузки

**1 – прямая упругих деформаций;
2 – кривая полных деформаций**

Многократное повторение циклов загрузки - разгрузки приводит к постепенному накоплению пластических деформаций $\varepsilon_{p\boxtimes}$ (рис. 2.16). После достаточно большого числа циклов неупругие деформации, соответствующие данному уровню напряжений, выбираются, ползучесть достигает своего предельного значения, бетон начинает деформироваться упруго ($\sigma_b \leq R_r$).

При больших напряжениях неупругие деформации неограниченно растут, напряжения достигают предела выносливости и бетон разрушается R_r

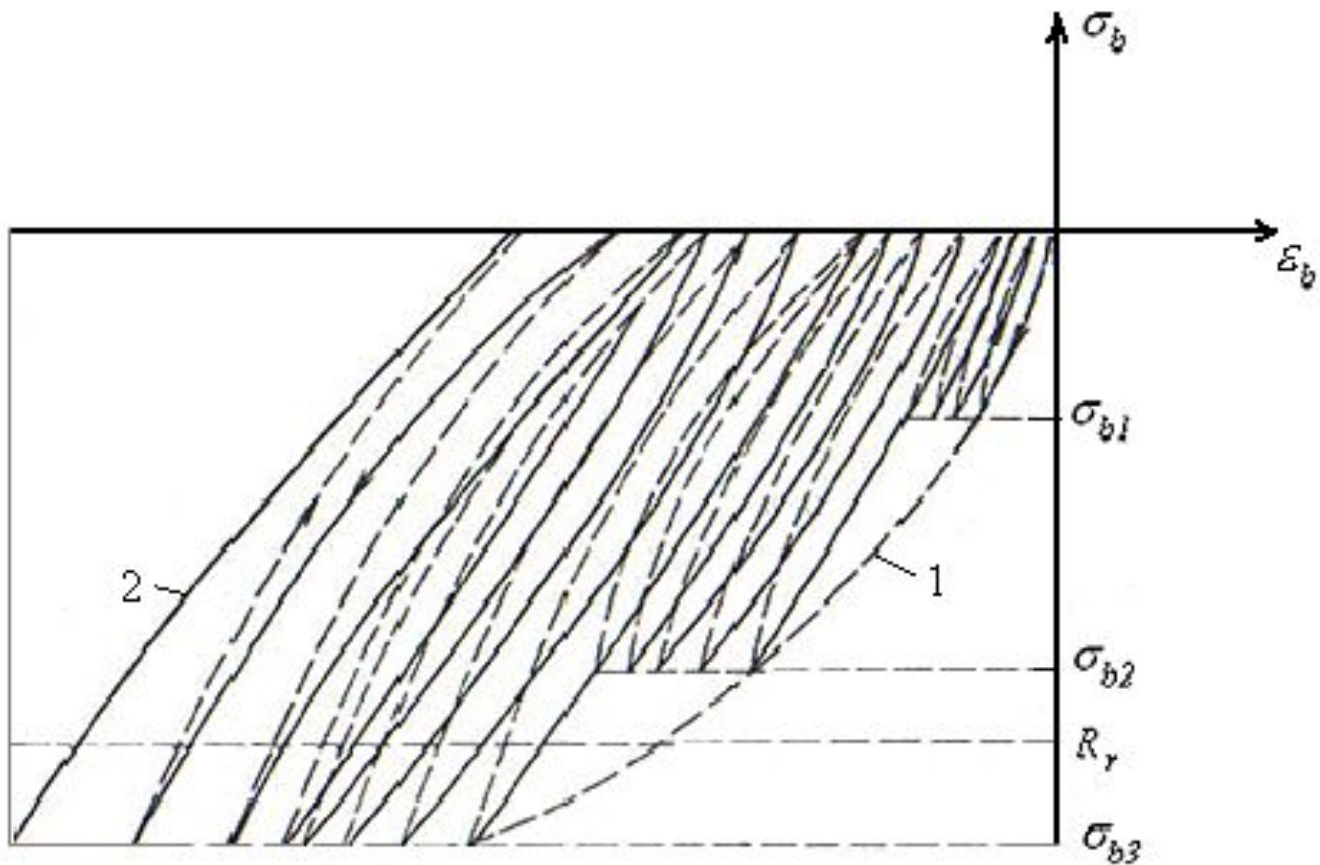


Рис. 2.16. Диаграмма $\sigma_b - \varepsilon_b$ при многократном повторном нагружении бетонного образца

**1 – первичная кривая деформаций;
2 – конечная кривая деформаций**

9. Предельные деформации бетона

Предельные деформации бетона при сжатии

(растяжении) – это относительные средние укорочения (удлинения) в момент разрушения центрально сжатых (центральнорастянутых) образцов, испытанных по ГОСТ

Предельная сжимаемость бетона при длительном действии нагрузки $\varepsilon_{bu} = 0,0025$, предельная растяжимость $\varepsilon_{btu} = 0,00015$. При кратковременном действии нагрузки $\varepsilon^{sh}_{bu} = 0,002$