

ЛЕКЦИЯ 7

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БЕТОНА.

Вопросы Показатели прочности и деформативности.

Теория прочности и механизм разрушения.

Усадка и ползучесть бетона.

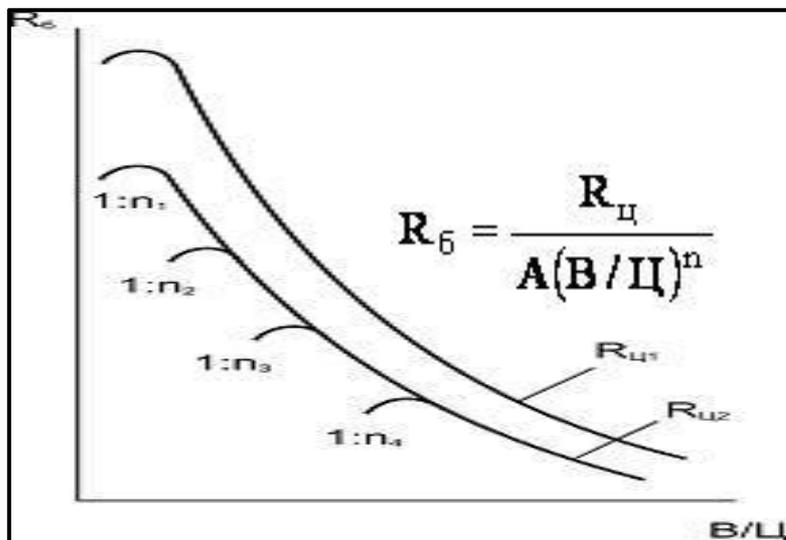
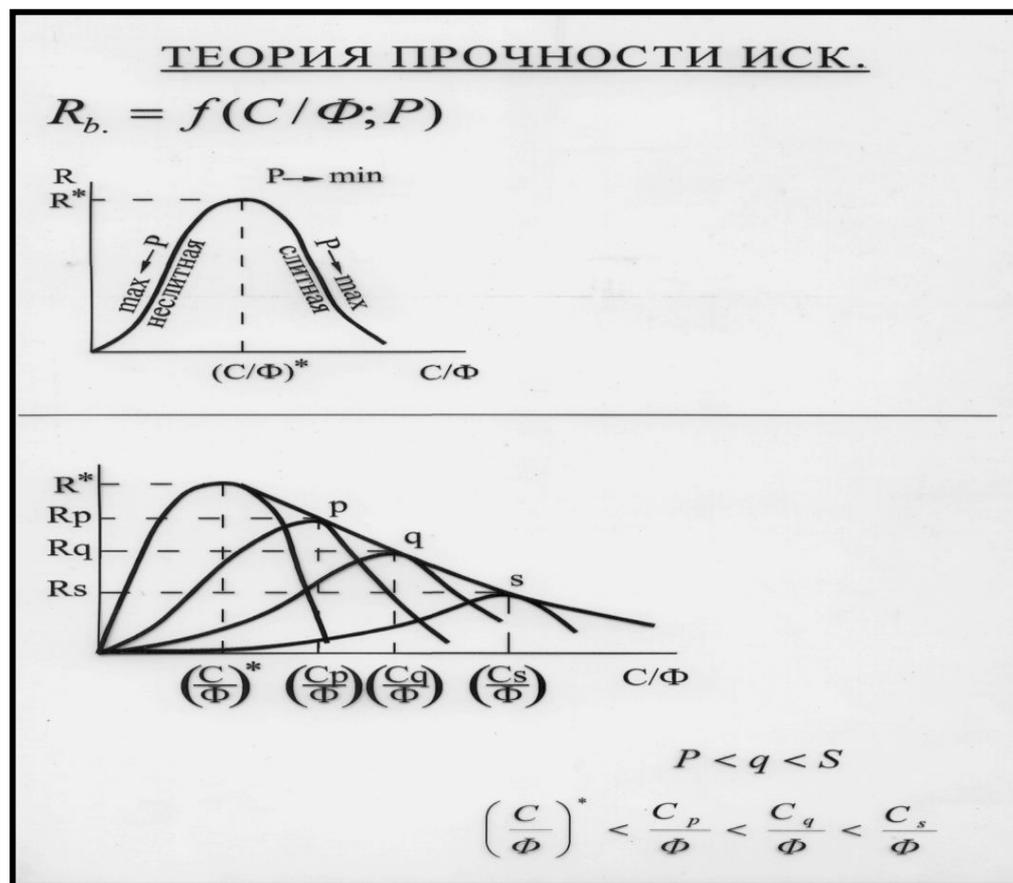


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от В/Ц и $R_{ц}$; $1:n_1$ — отношение массы цемента к массе заполнителя; $R_{ц1} > R_{ц2}$



[ГОСТ 10180-90 «Бетоны.](#)

[Методы определения прочности...](#)

Показатели прочности и деформативности

Прочность - свойство материалов сопротивляться разрушению под действием внешних нагрузок.

Мерой прочности является предел прочности - максимальное напряжение, при котором имеет место разрушение образцов бетона или элементов конструкций.

Под прочностью бетона понимают способность материала сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих под действием внешней нагрузки или других факторов.

Прочность бетона зависит от вида напряженного состояния (сжатия, растяжения, изгиба и др. или совместного влияния нескольких воздействий, т.е. сложного напряженного состояния). Важное значение имеет также характер нагрузки (кратковременная, длительная, повторно-переменная, ударная и др.).

Разрушение в физическом понимании состоит в отделении частей тела друг от друга. Дефекты в материале приводят к облегчению процесса разрушения, т. е. понижают прочность материала.

Особенностью поведения под нагрузкой хрупких материалов, а следовательно, и бетона является то, что при сжатии они разрушаются от растягивающих напряжений, возникающих в направлениях, перпендикулярных действию сжимающей нагрузки, или от напряжений среза, действующих по определенным плоскостям.

Прочность и деформативность бетона определяются главным образом структурой и свойствами цементного камня, который скрепляет зерна заполнителя в монолит.

Разрушение бетона происходит постепенно. Вначале возникают перенапряжения, а затем микротрещины в отдельных микрообъемах. Развитие этого процесса сопровождается перераспределением напряжений и вовлечением в трещинообразование все большего объема материала, вплоть до образования сплошного разрыва того или иного вида, зависящего от формы образца или конструкций, ее размеров и других факторов. На последней стадии нагружения процесс микроразрушений становится неустойчивым и носит лавинный характер.

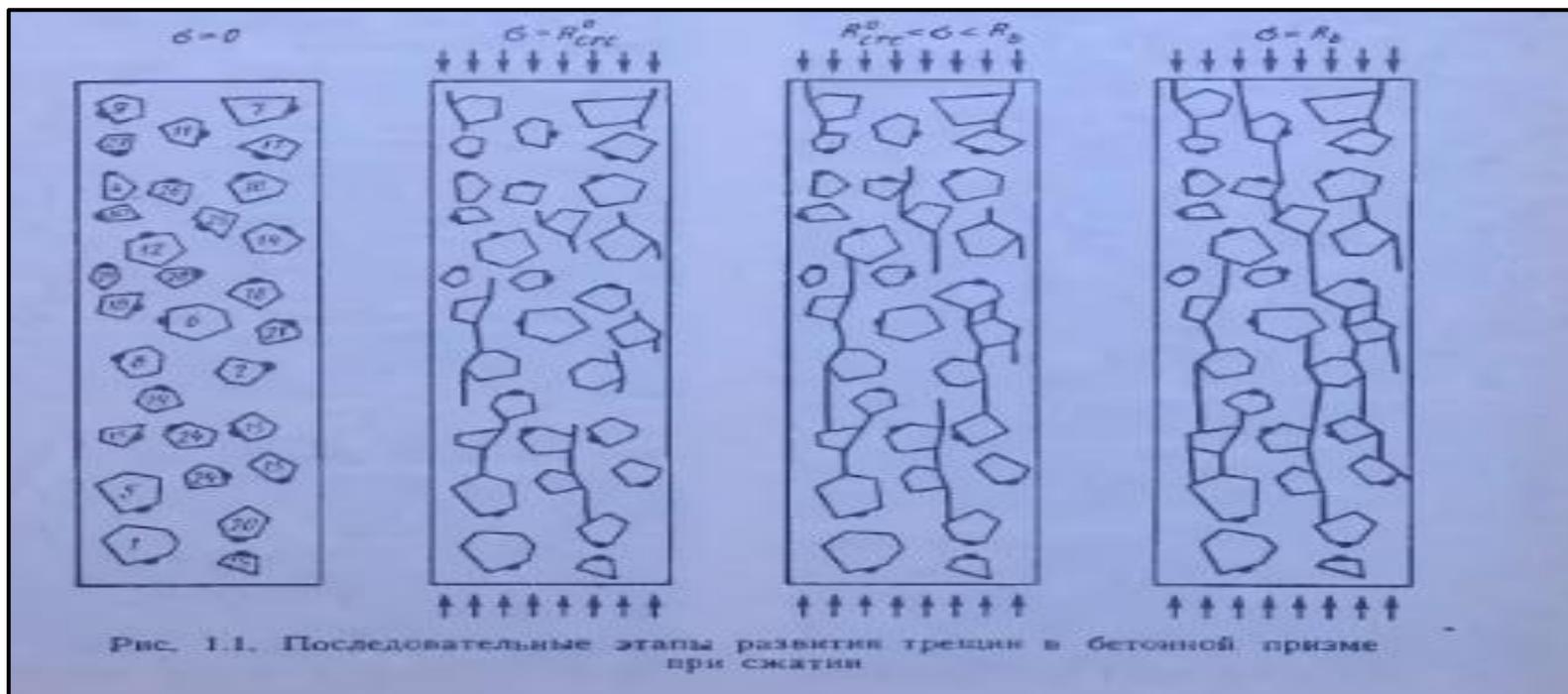
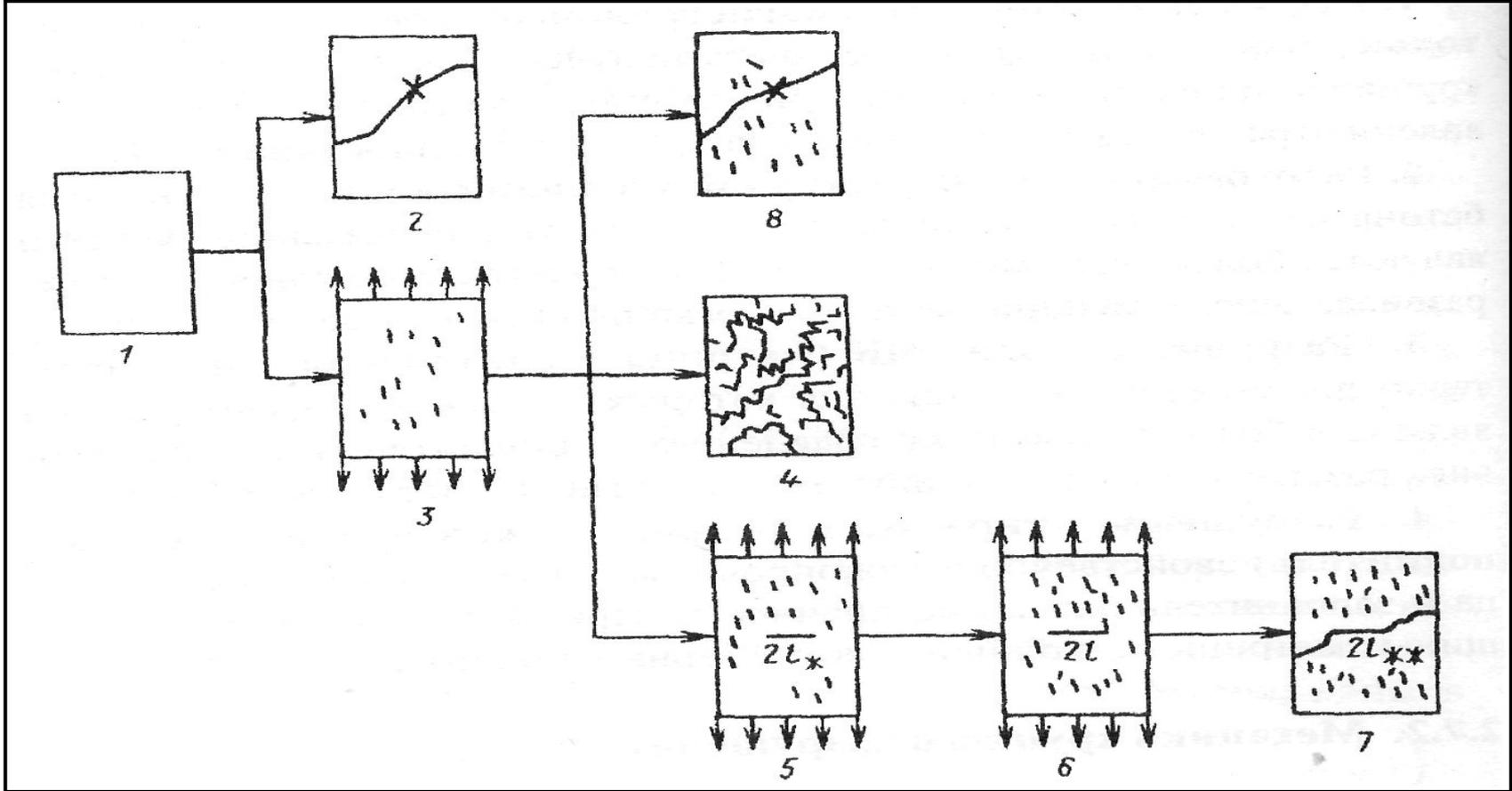
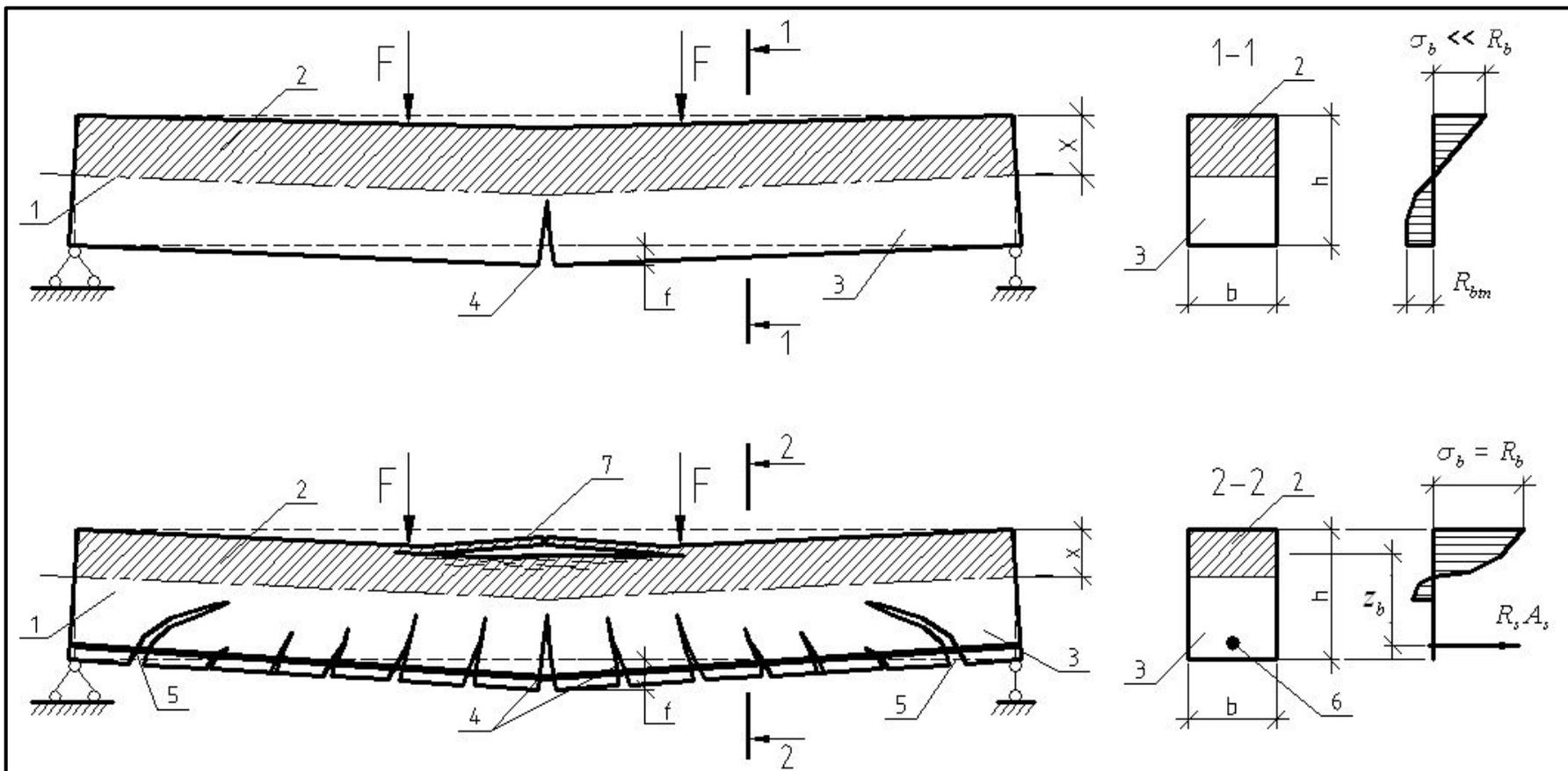
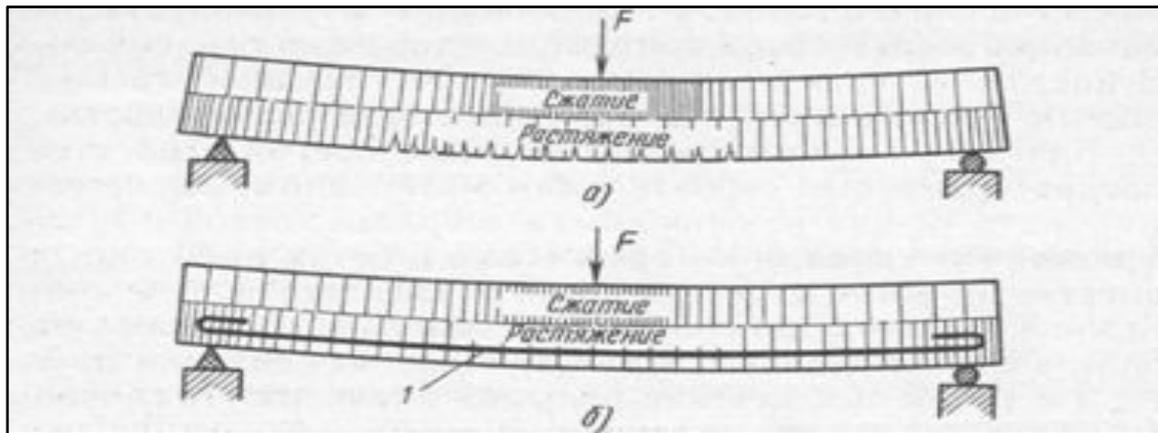
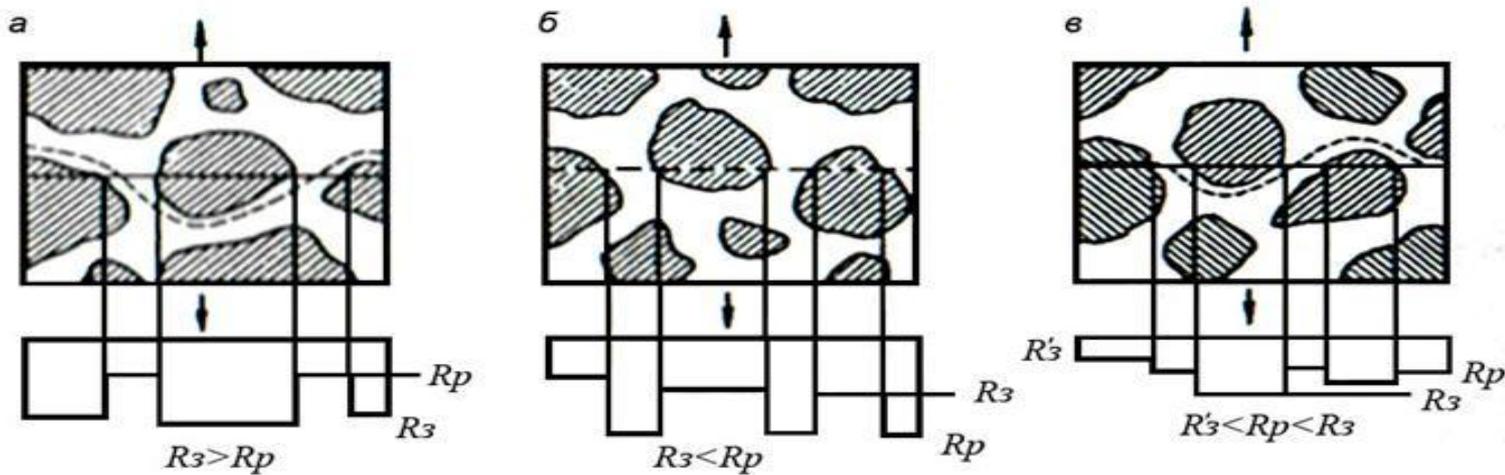
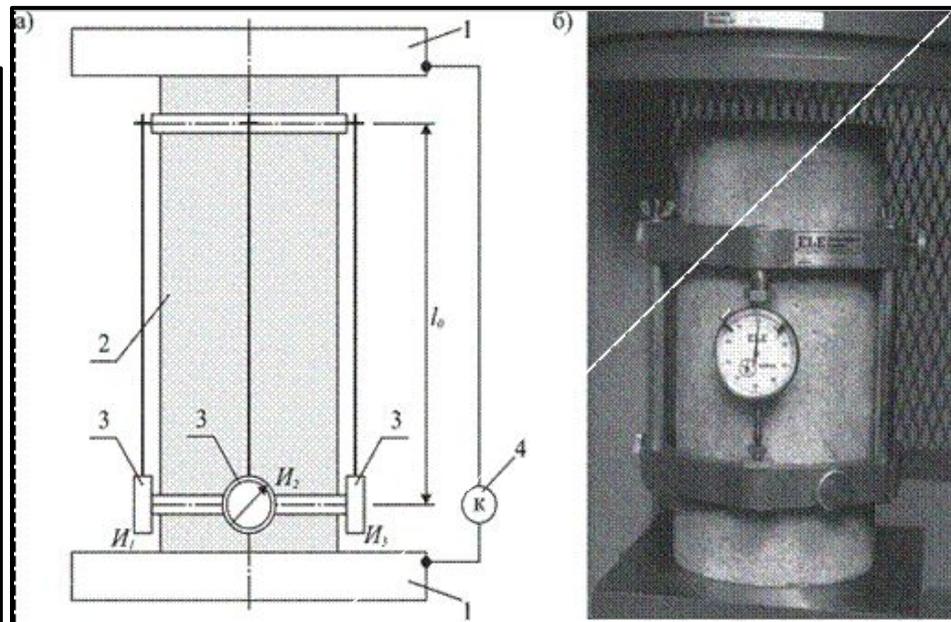
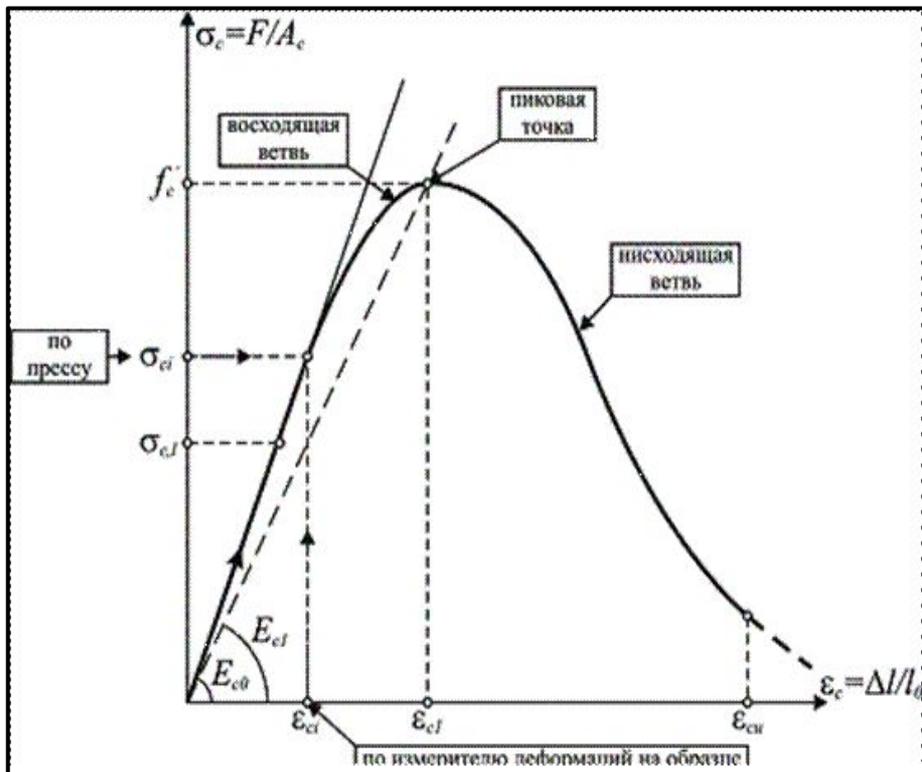


Рис. 1.1. Последовательные этапы развития трещин в бетонной призме при сжатии





Прочность на сжатие



Влияние поверхности щебня на прочность контактной зоны.

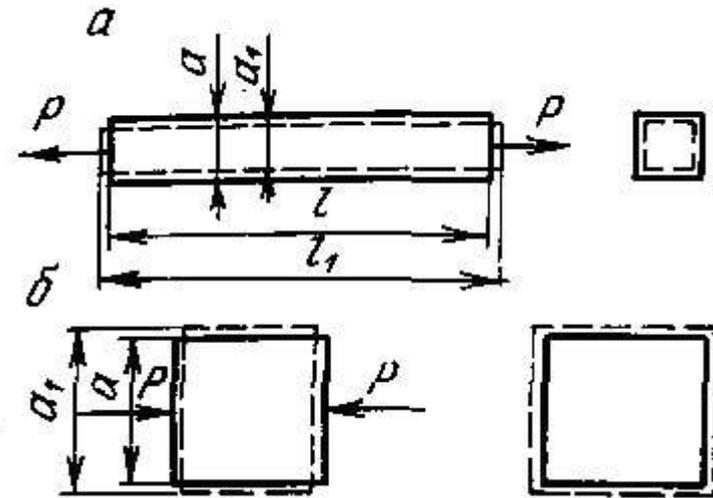
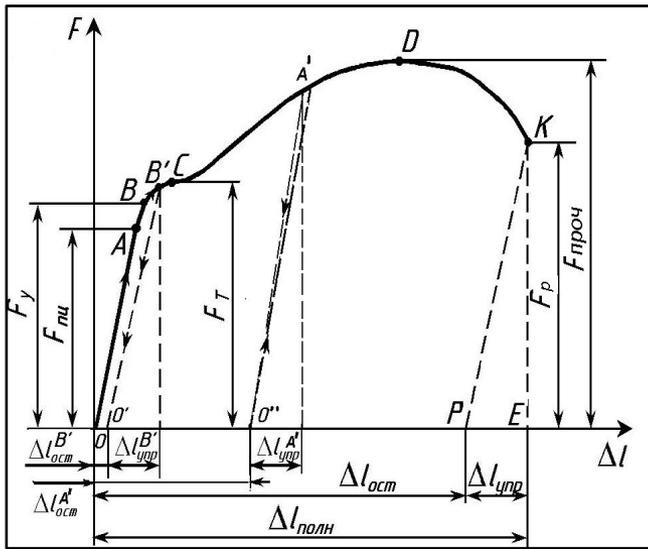
Вид щебня	Прочность при изгибе МПа при В/Ц				Вид Разрушения
	0,25	0,30	0,35	0.40	
Гранит	3,68	5,33	3,81	2,52	По контакту
Шлаковый щебень	7,17	8,20	6,96	6,04	По шлаку и цементному камню
Известняк	4,53	5,82	4,35	2,96	По контакту
Базальт	4,95	6,41	4,57	3,12	По контакту
Цементный камень (М500)	12,5	9,5	8,14	7,43	

Разрушение типа М (магистральные трещины проходят только через матрицу) может быть получено лишь на образцах без крупного заполнителя, так как при наличии последнего неизбежно по явление трещин на более слабых участках, т.е. трещин типа **З** и **К**.

Разрушение типа МЗ (матрица + заполнитель) характерно для бетона на пористых заполнителях, для которого указанные участки являются более слабыми по сравнению с контактной зоной, поэтому развивающиеся трещины матрицы легко проникают в заполнитель.

Разрушение типа МК (матрица + контактная зона) характерно для обычных бетонов, для которых указанные выше участки являются более слабыми по сравнению с заполнителем. В этих условиях развивающиеся трещины матрицы огибают зерна заполнителя.

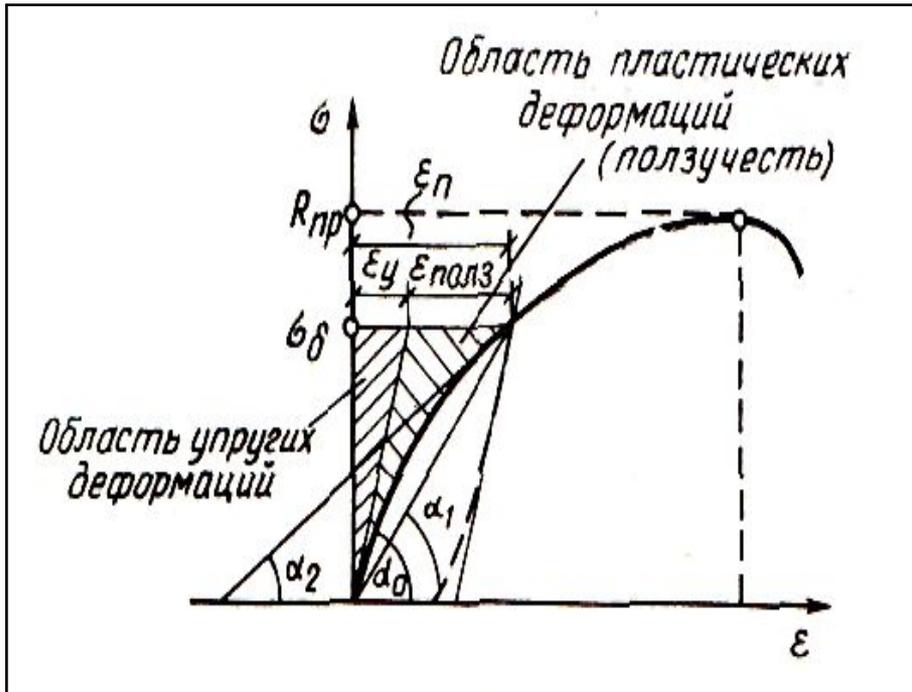
Разрушение типа МКЗ (матрица + контактная зона + заполнитель) свойственно высокопрочным бетонам, у которых матрица и заполнитель близки по прочности. При таком соотношении трещины матрицы легко проникают в зерна заполнителя.



Закон Гука - нормальное напряжение прямо пропорционально относительному удлинению или укорочению.

Математически эта зависимость записывается так:

$$\sigma = E \varepsilon.$$



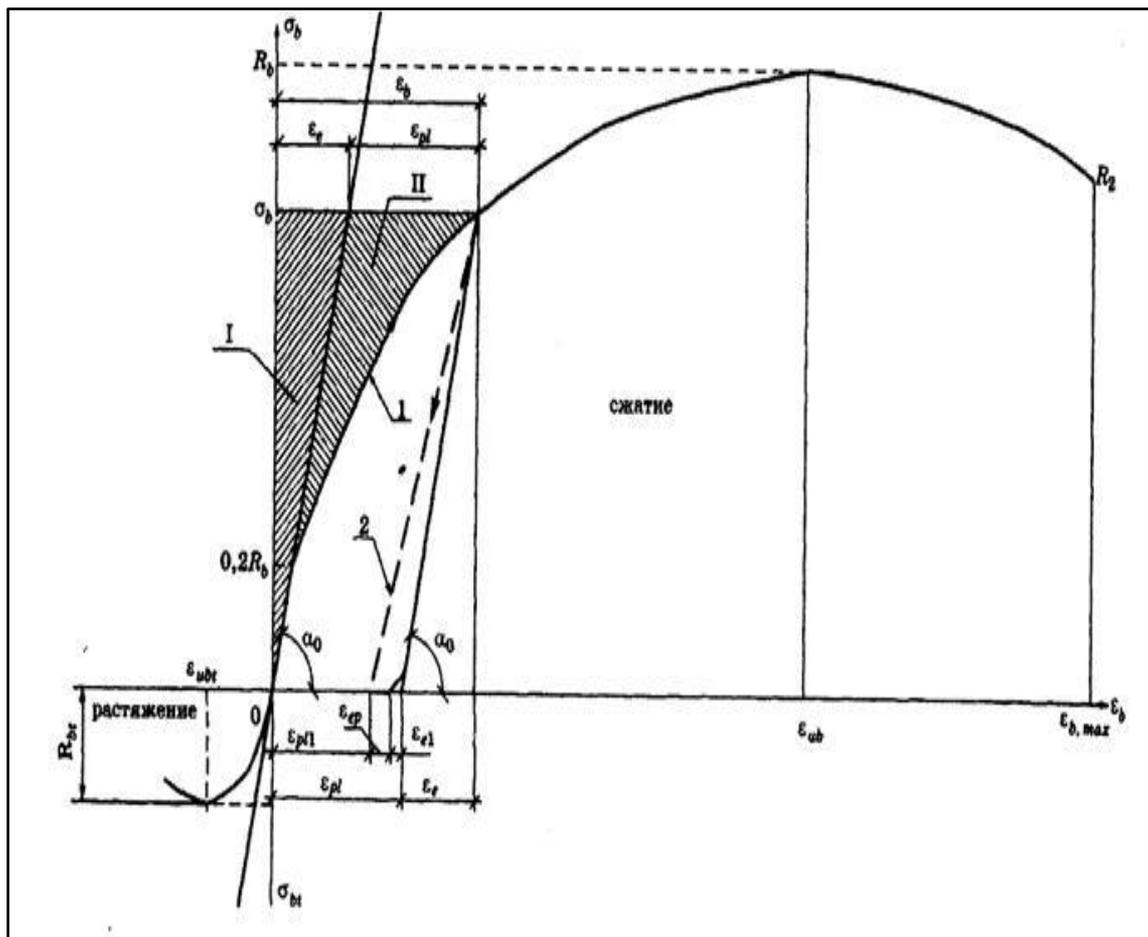


Диаграмма зависимости между напряжениями и деформациями бетона при сжатии и растяжении:

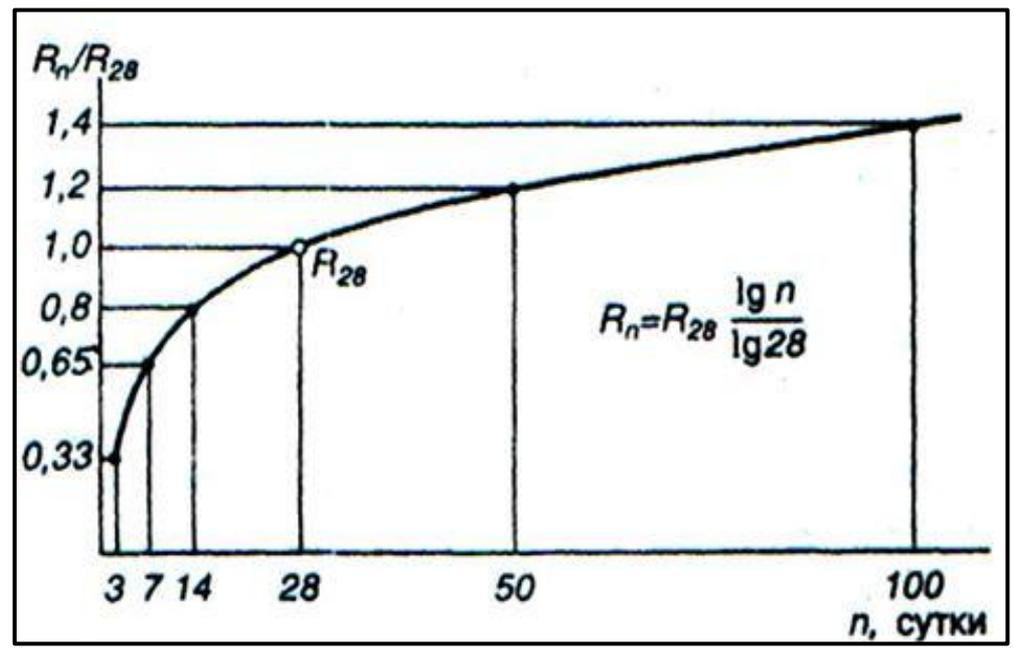
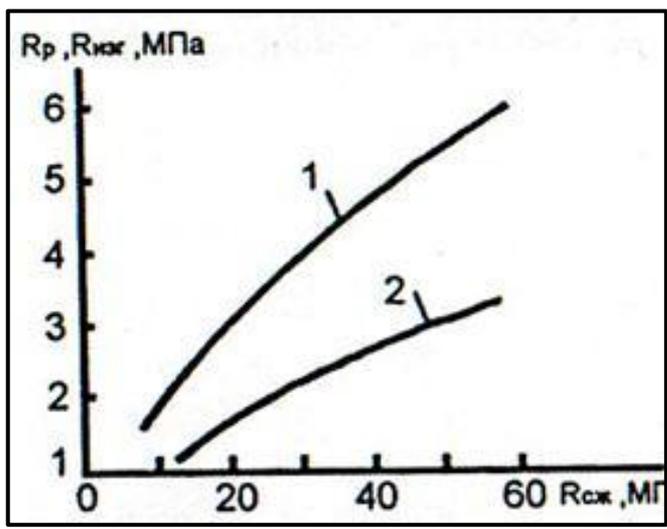
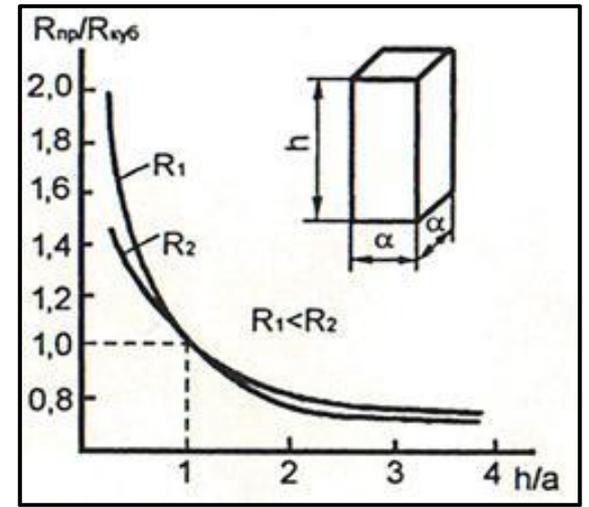
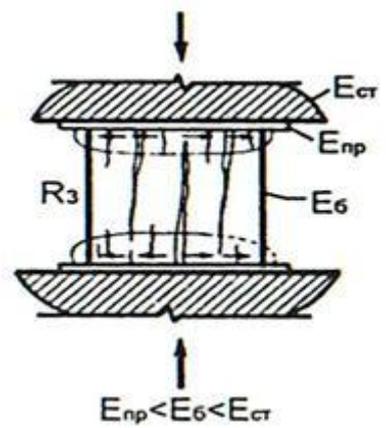
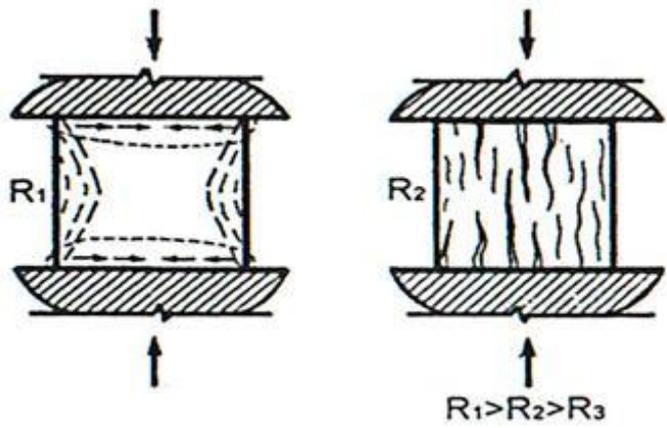
I – область упругих деформаций;
 II – область пластических деформаций;

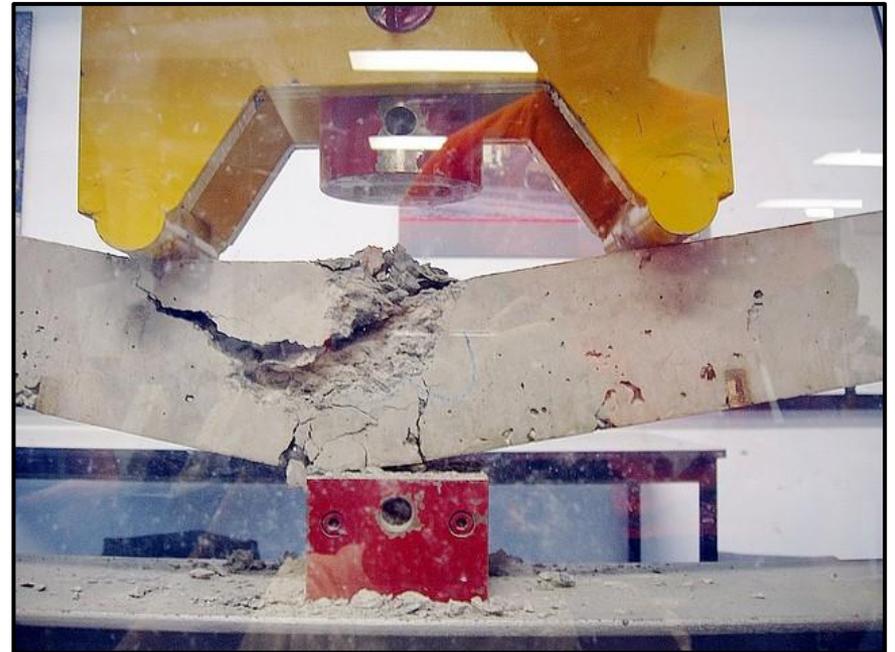
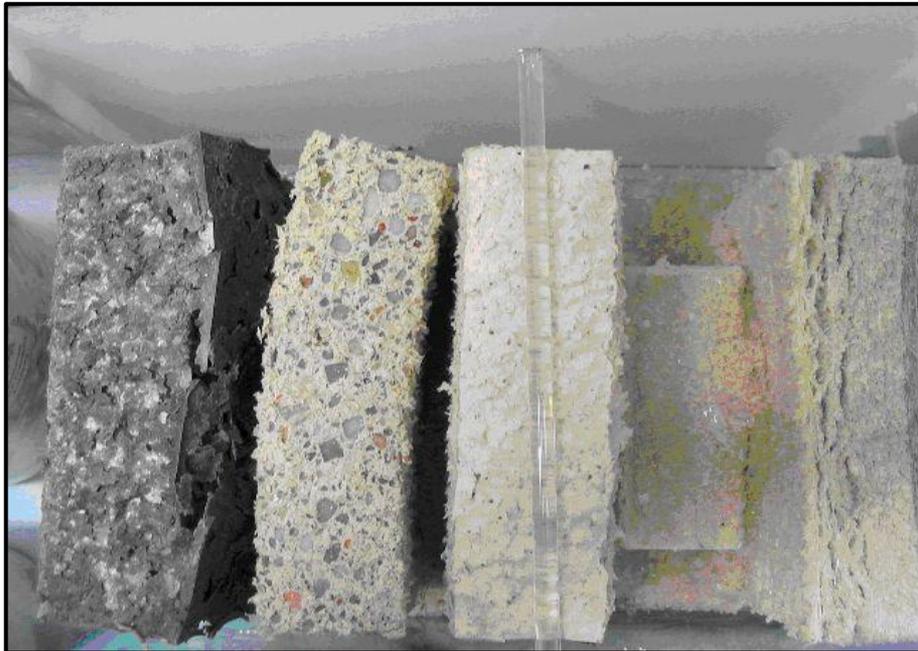
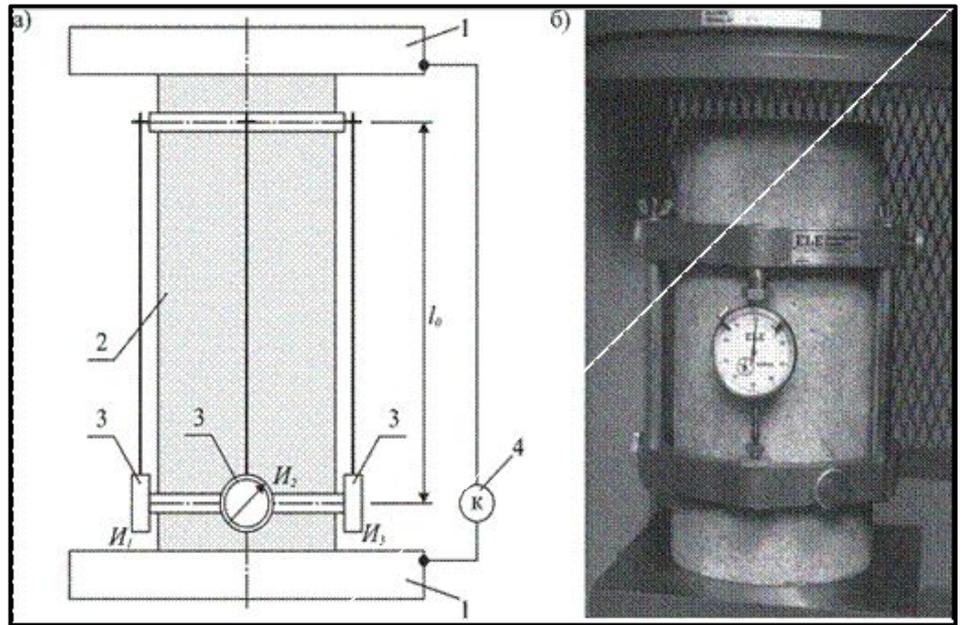
1 – нагрузка;
 2 – разгрузка;

– предельная сжимаемость;

– предельная растяжимость;

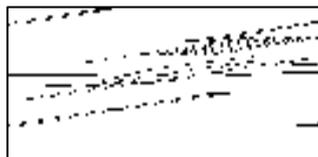
– максимальная сжимаемость при нисходящей ветви диаграммы





Если через ε_0 обозначить предельную растяжимость бетона и полагать, что до момента разрушения, деформации ε связаны с напряжением линейным законом, то условия прочности можно представить следующими уравнениями :

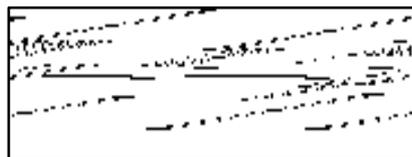
при растяжении



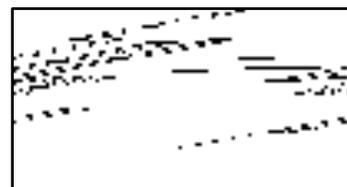
при сжатии



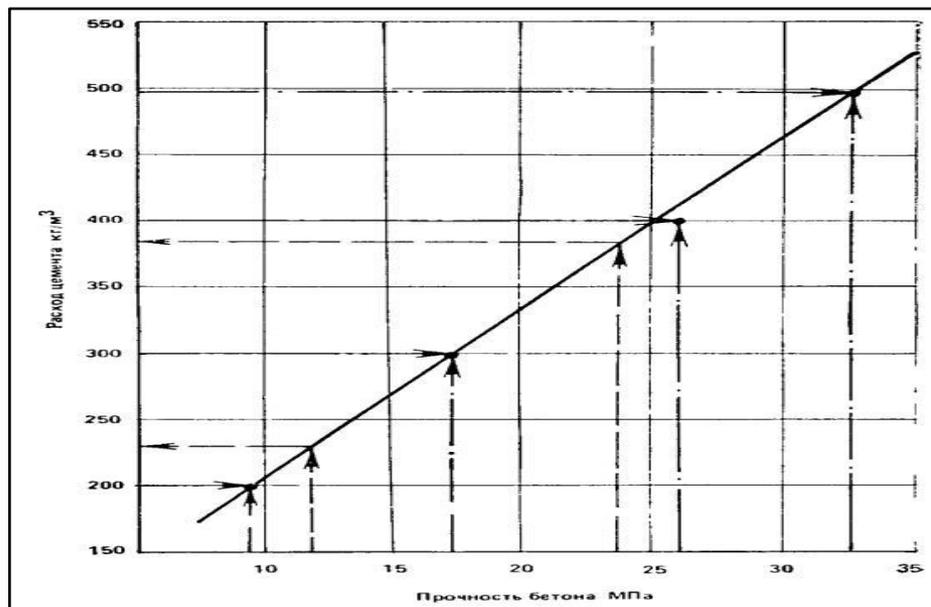
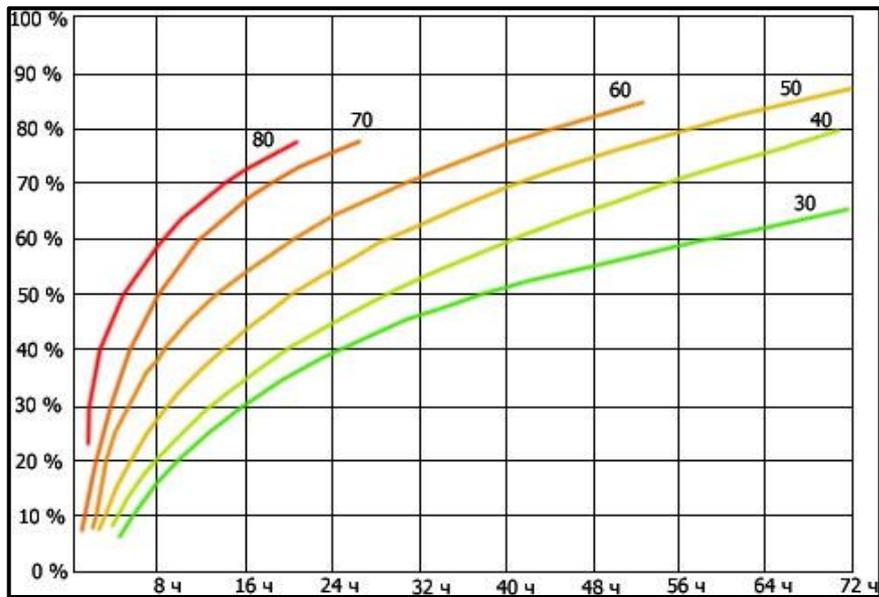
в предельном состоянии



следовательно



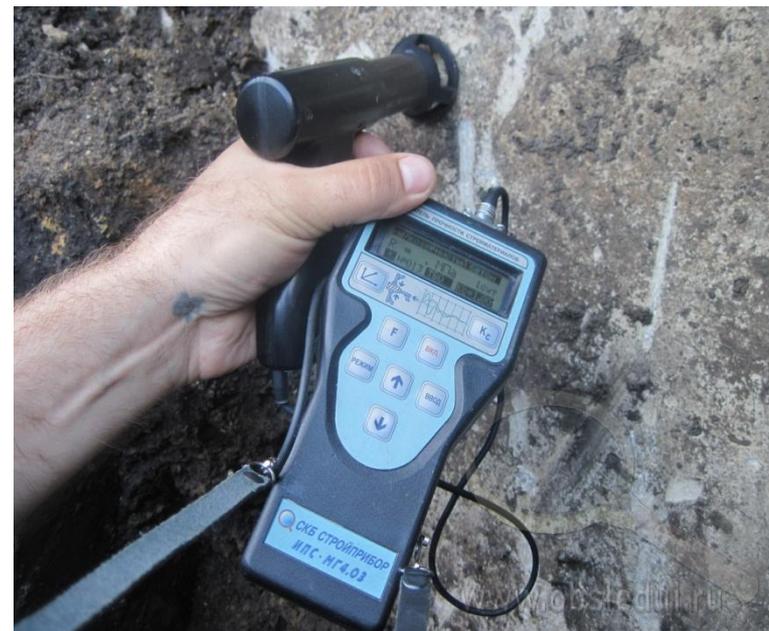
0.5 – коэф. трения при испытании



Теория прочности дает оценку прочности материала, находящегося в любом напряженном состоянии, по какому-либо решающему фактору (так называемому критерию прочности). За критерий прочности, как показывают многочисленные исследования, можно принимать напряжения, деформации или энергию деформации (полную энергию или энергию изменения формы). Введение критерия прочности позволяет сопоставить данное сложное напряженное состояние с простым, например, с одноосным растяжением и установить при этом такое эквивалентное (расчетное) напряжение $s_{\text{ЭКВ}}$, которое в обоих случаях дает одинаковый коэффициент запаса прочности.

Метод, стандарты, приборы	Схема испытания
Ультразвуковой ГОСТ 17624-87 Приборы: УКБ-1, УКБ-1М УКБ16П, УФ-90ПЦ Бетон-8-УРП, УК-ЮП	
Пластической деформации Приборы: КМ, ПМ, ДИГ-4 Упругого отскока Приборы: КМ, склерометр Шмидта ГОСТ 22690-88	
Пластической деформации Молоток Кашкарова ГОСТ 22690-88	
Отрыв с дисками ГОСТ 22690-88 Прибор ГПНВ-6	
Скалывание ребра конструкции ГОСТ 22690-88 Прибор ГПНС-4 с приспособлением УРС	
Отрыв со скатыванием ГОСТ 22690-88 Приборы: ГПНВ-5, ГПНС-4	





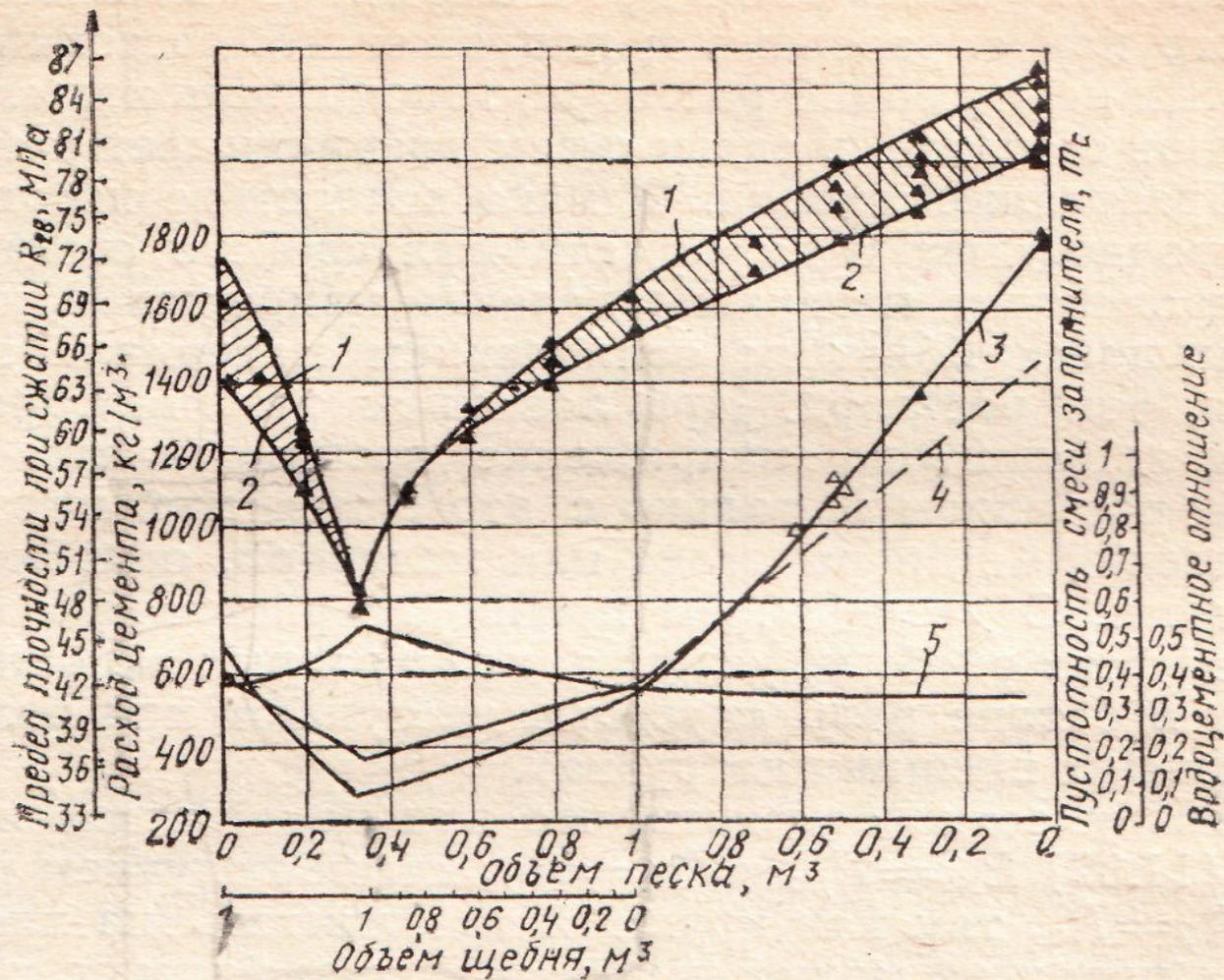


Рис. 11.7. Зависимость прочности бетона от его состава

1 и 2 — кривые прочности (между ними область разброса прочности); 3 — кривая расхода цемента в кг на 1 м³ бетона; 4 — кривая пустотности смеси заполнителей; 5 — кривая (В/Ц) σ

Константы деформативности бетона.

* Модуль упругости

$$E_{\sigma} = \sigma / \varepsilon$$

$$E_{\sigma} = \frac{E_m R_{\tau}}{S + R_{\tau}}$$

где R_{τ} - кубиковая прочность бетона на сжатие при определенной длительности твердения (τ);

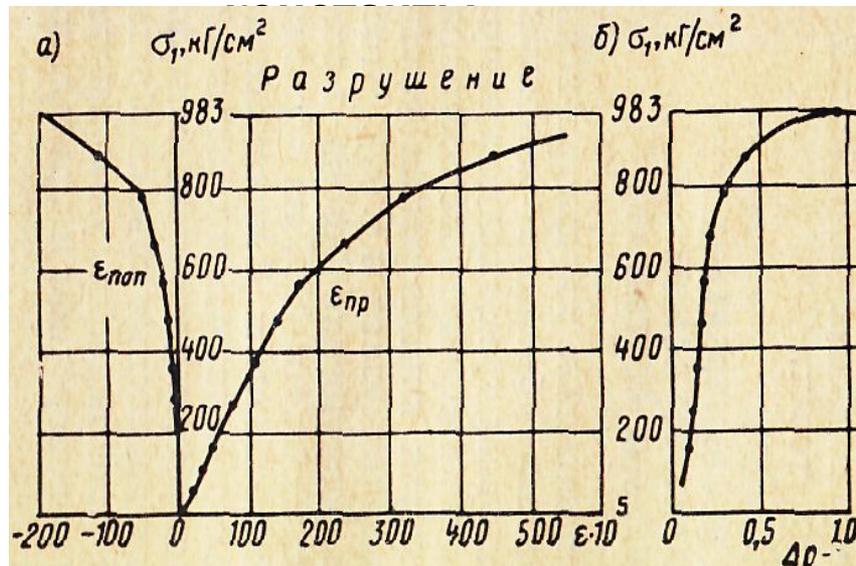
E_m и S - эмпирические

* Коэффициент поперечной деформации (Пуассона)

$$\mu = \varepsilon_{\text{поп}} / \varepsilon_{\text{пр}}$$

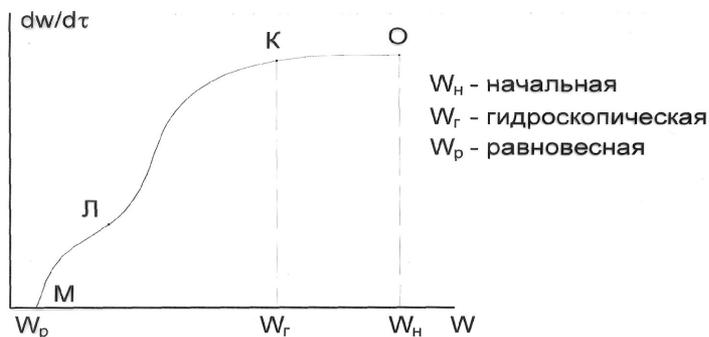
* Коэффициент относительных объемных деформаций

$$\theta = \frac{3\sigma(1 - 2\mu)}{E_{\sigma}}$$

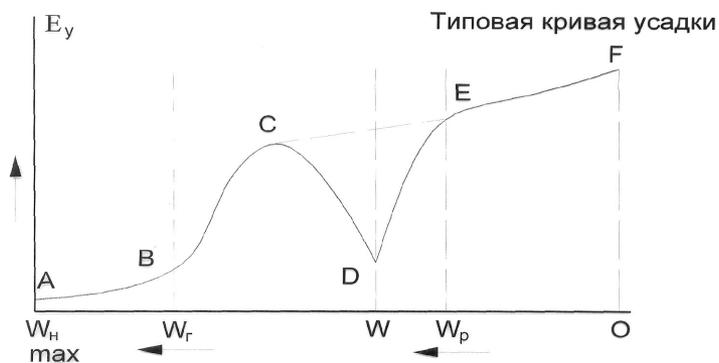


Усадка бетона

УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ



ТИПОВАЯ КРИВАЯ СУШКИ



Усадку бетона ϵ_{yc} в зависимости от объема введенного заполнителя можно найти из выражения:

$$\epsilon_{yc} = \epsilon_{yc}^{\text{ц}} (1 - V_{\text{зап}})^n$$

где $\epsilon_{yc}^{\text{ц}}$ — усадка цементного камня;
 $V_{\text{зап}}$ — объемная доля заполнителя.

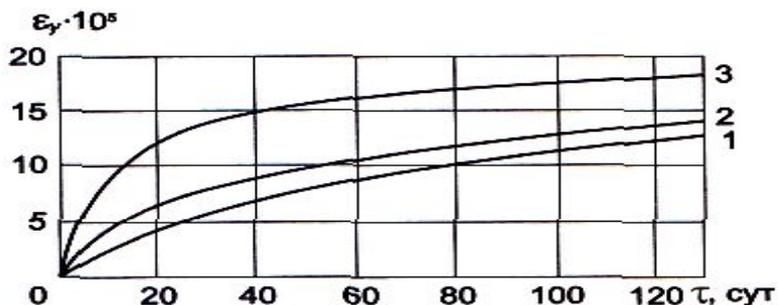


Рис. 5.23. Влияние расхода цемента и водоцементного отношения на усадку бетона трех составов:
 1 — $\text{Ц}=350 \text{ кг/м}^3$, $\text{В/Ц}=0,45$; 2 — $\text{Ц}=450 \text{ кг/м}^3$, $\text{В/Ц}=0,35$; 3 — $\text{Ц}=450 \text{ кг/м}^3$, $\text{В/Ц}=0,45$

Ползучесть бетона

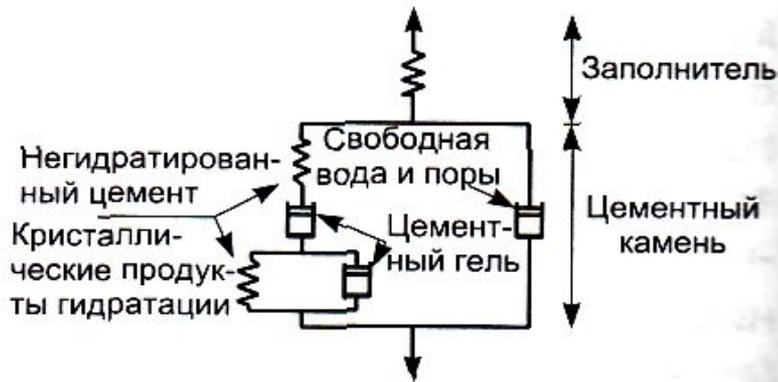


Рис. 5.11. Рейологическая модель ползучести бетона

Характеристика ползучести

$$\varphi_T = \varepsilon_{пл} / \varepsilon_0$$

Мера ползучести

$$C_m = \varepsilon_{пл} / \sigma_0$$

Основные расчетные формулы для прогнозирования меры ползучести тяжелого бетона

№	Формула	Авторы
1	$C_{m(28)} = \frac{K}{R_{сж}}, \quad (5.28)$ <p>$C_{m(28)}$ – предельное значение меры ползучести бетона при загрузении его в 28 сут; $R_{сж}$ – кубиковая прочность бетона при сжатии в возрасте 28 сут, МПа; $K=25 \cdot 10^{-5}$</p>	А. Вельми
2	$C_{m(28)} = \frac{K \cdot V / Ц (V + 0,33 Ц)}{R_{сж}}, \quad (5.29)$ <p>V и $Ц$ – расходы воды и цемента на 1 м³ бетона; $K = 1,4 \cdot 10^{-6}$.</p>	А. Вельми
3	$C_{m(28)} = \frac{KV_n}{R_{сж} \sqrt[3]{R_m / R_{сж}}}, \quad (5.30)$ <p>V_n – объем пор в цементном камне при условии 15% химически связанной воды; R_m – предельное значение кубиковой прочности.</p>	А. Гуммель
4	$C_{m(28)} = \frac{K \cdot V / Ц (V + 0,33 Ц)}{\sqrt{R_{сж}}}. \quad (5.31)$	Европейский комитет по бетону (ЕКБ)
5	$C_{m(28)} = K \frac{1 + V / Ц}{1 + V / Ц + m} (V / Ц)^2, \quad (5.32)$ <p>$K_5 = 11 \cdot 10^{-6}$; m – массовое соотношение между заполнителем и цементом.</p>	И.И. Улицкий
6	$C_{m(28)} = \frac{KB}{R_{сж}}, \quad (5.33) \quad K = 16 \cdot 10^{-6}.$	Е.Н. Щербаков