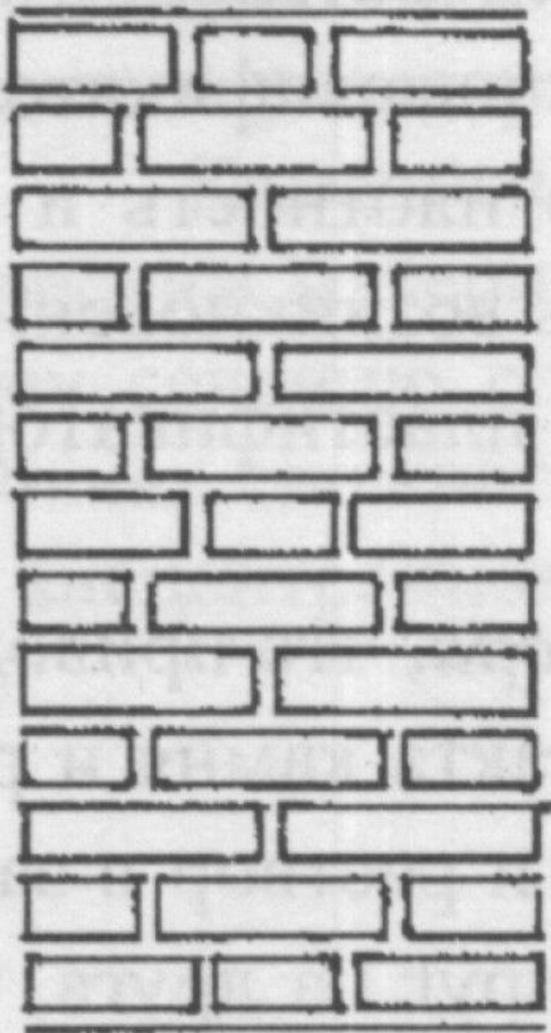


# Четыре стадии работы кладки под нагрузкой при сжатии

*Первая стадия* соответствует нормальной эксплуатации кладки.

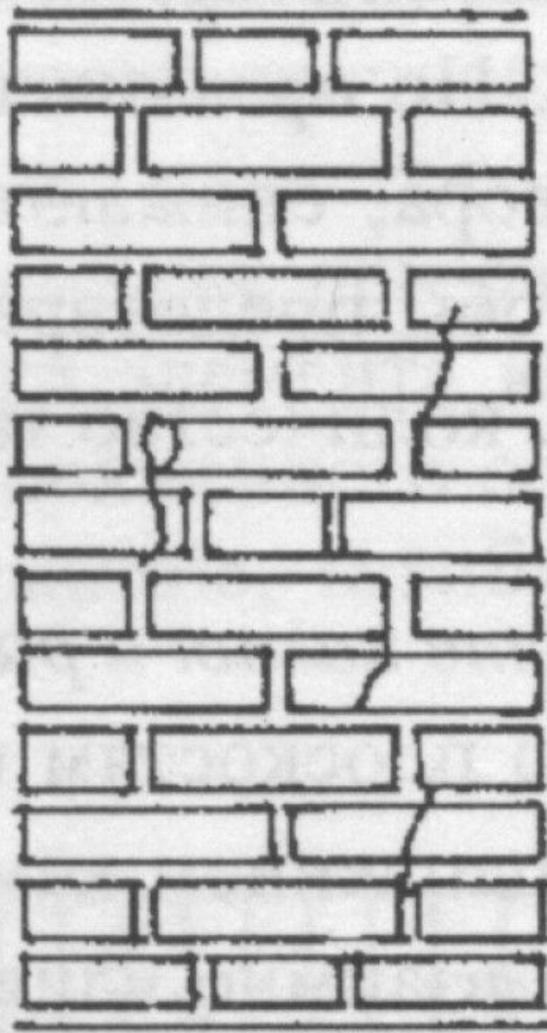
*Во второй стадии* появляются небольшие трещины в отдельных кирпичках (рис.2.3,б). Нагрузка в этой стадии составляет **60-80%** от разрушающей и дальнейшего развития трещин при неизменной нагрузке не наблюдается.

$N < N_{TP}$



$a$

$N = N_{TP}$



$b$

Величина нагрузки, при которой появляются первые трещины, зависит от механических свойств кирпича, конструкции кладки и деформативных свойств раствора.

Чем меньше деформативность раствора, тем более хрупкой оказывается кладка, т.е. тем ближе  $N_{tr}$  к  $N_p$ .

Цементные растворы более жесткие; известковые более деформативны.

Повышение хрупкости кладки с увеличением ее возраста и при применении малодеформативных растворов должно учитываться при оценке ее запасов прочности поврежденной кладки.

Так, если трещины появляются в кладке большого возраста изготовленной на цементном растворе, то это свидетельствует о ее перегрузке.

**В любом случае *появление первых трещин* должно рассматриваться как сигнал для установления причин их появления и, если потребуется, усиления кладки или снижению на нее нагрузок.**

*Третья стадия* работы кладки (рис.2.3,в) возникает при увеличении нагрузки после появления первых трещин, при которой происходит как их развитие, так и возникновение, и развитие новых трещин.

Трещины соединяются между собой, пересекая значительную часть кладки в вертикальном направлении и постепенно расслаивая ее на отдельные ветви, каждая из которых находится в условиях внецентренного нагружения.

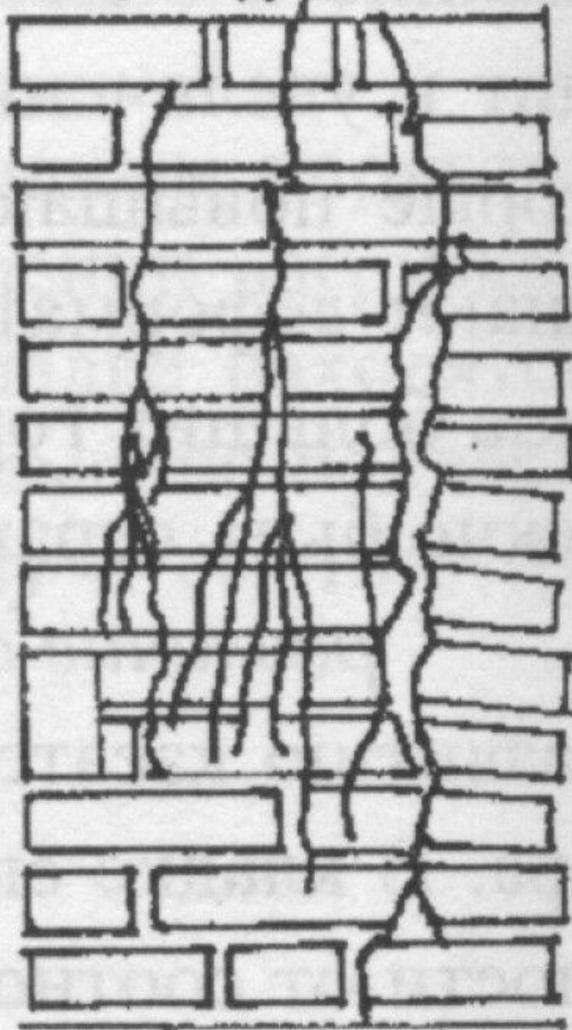


*Четвертая стадия* – стадия разрушения от потери устойчивости расчлененной кладки возникает при длительном действии нагрузки третьей стадии

В естественных условиях третья стадия является началом окончательного разрушения кладки.

Возникшие в этой стадии сквозные трещины не стабилизируются, а продолжают развиваться и увеличиваться без увеличения нагрузки.

$$N = N_p$$



2

Действительная разрушающая нагрузка составляет **80-90%** от экспериментальной разрушающей нагрузки.

Возникновение первых трещин в кладке вызывается напряжениями изгиба и среза отдельных кирпичей при напряжениях сжатия **15-25%** от предела прочности кирпича на сжатие.

Деформации изгиба отдельных кирпичей достигают *0,1...0,4мм* (рис.2.4), которые при учете хрупкости кирпича являются чрезмерными.

Причиной изгиба и среза кирпича в кладке при сжатии является неравномерная плотность раствора в швах.

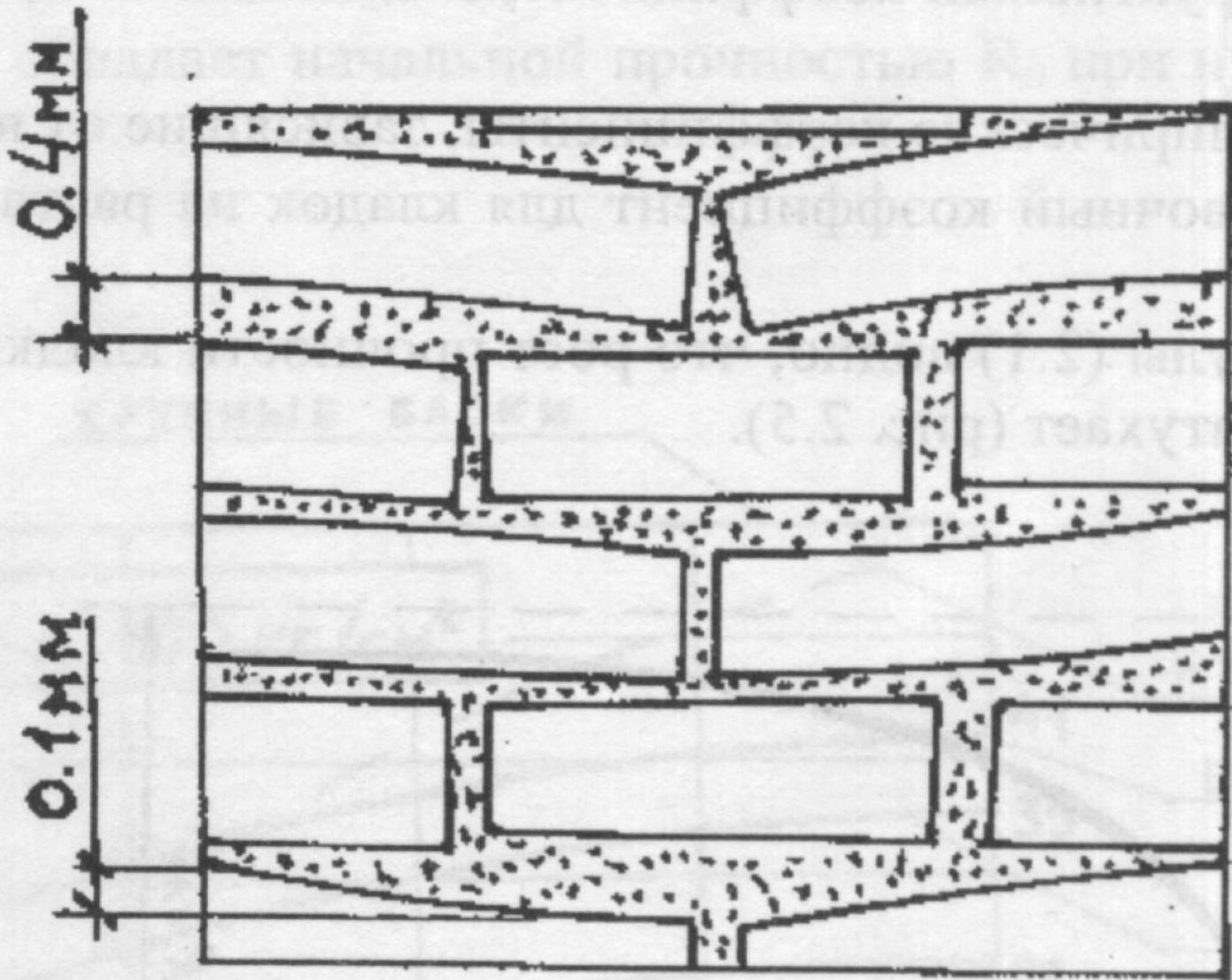


Рис. 2.4.

Последовательность разрушения кладки, выполненной из камней других видов подобна разрушению кирпичной кладки.

С увеличением высоты камня *увеличивается хрупкость кладки* и момент появления первых трещин приближается к моменту разрушения.

# ПРОЧНОСТЬ КЛАДКИ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ

Так как разрушение кладки всегда происходит в результате потери устойчивости гибких столбиков, образовавшихся после ее растрескивания, поэтому прочность кладки при очень прочном растворе всегда меньше прочности кирпича (камня) на сжатие.

Теоретическая максимальная прочность кладки на растворе с пределом прочности  $R_2 = \infty$  называется конструктивной прочностью кладки  $R^k$ .

Конструктивная прочность кладки равна пределу прочности камня на сжатие  $R$ , умноженному на конструктивный коэффициент  $A < 1$ :

$$R^k = A \cdot R_1$$

Фактическая прочность кладки значительно меньше конструктивной. Кроме марки кирпича  $R_1$ , на прочность кладки оказывает влияние марка раствора  $R_2$  и вид кладки.

Прочность кладки по эмпирической формуле, предложенной проф. Л.И. Онищиком:

$$R = A \cdot R_1 \cdot \left( 1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{R_1}} \right) \cdot \eta,$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – соответственно пределы прочности камня и раствора (марки камня и раствора);

$A$  – конструктивный коэффициент, зависящий от прочности камня и его вида ( $A < 1$ );

$a$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида кладки;

$\eta$  – поправочный коэффициент для кладок на растворах низких марок.

Из этой формулы видно, что рост прочности кладки с увеличением марки раствора затухает (рис.2.5).

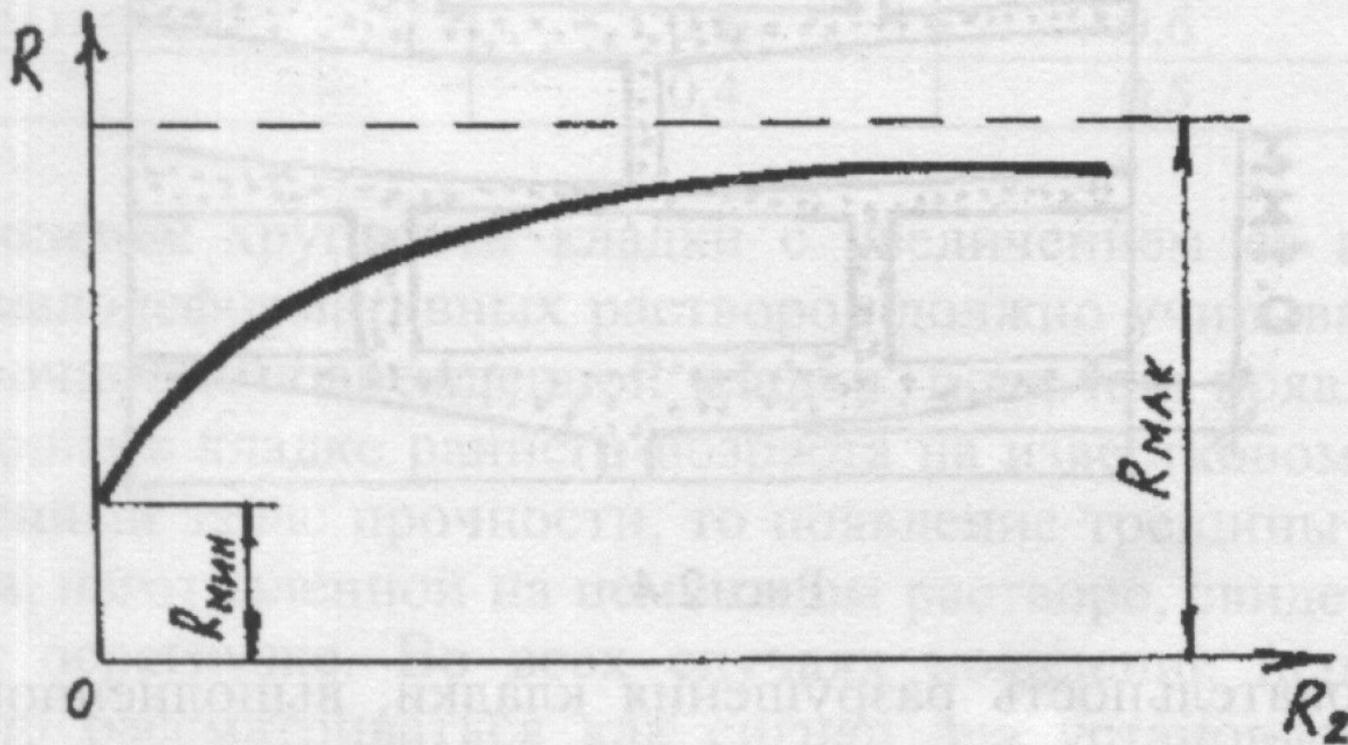


Рис. 2.5. Зависимость прочности кладки при сжатии от прочности раствора

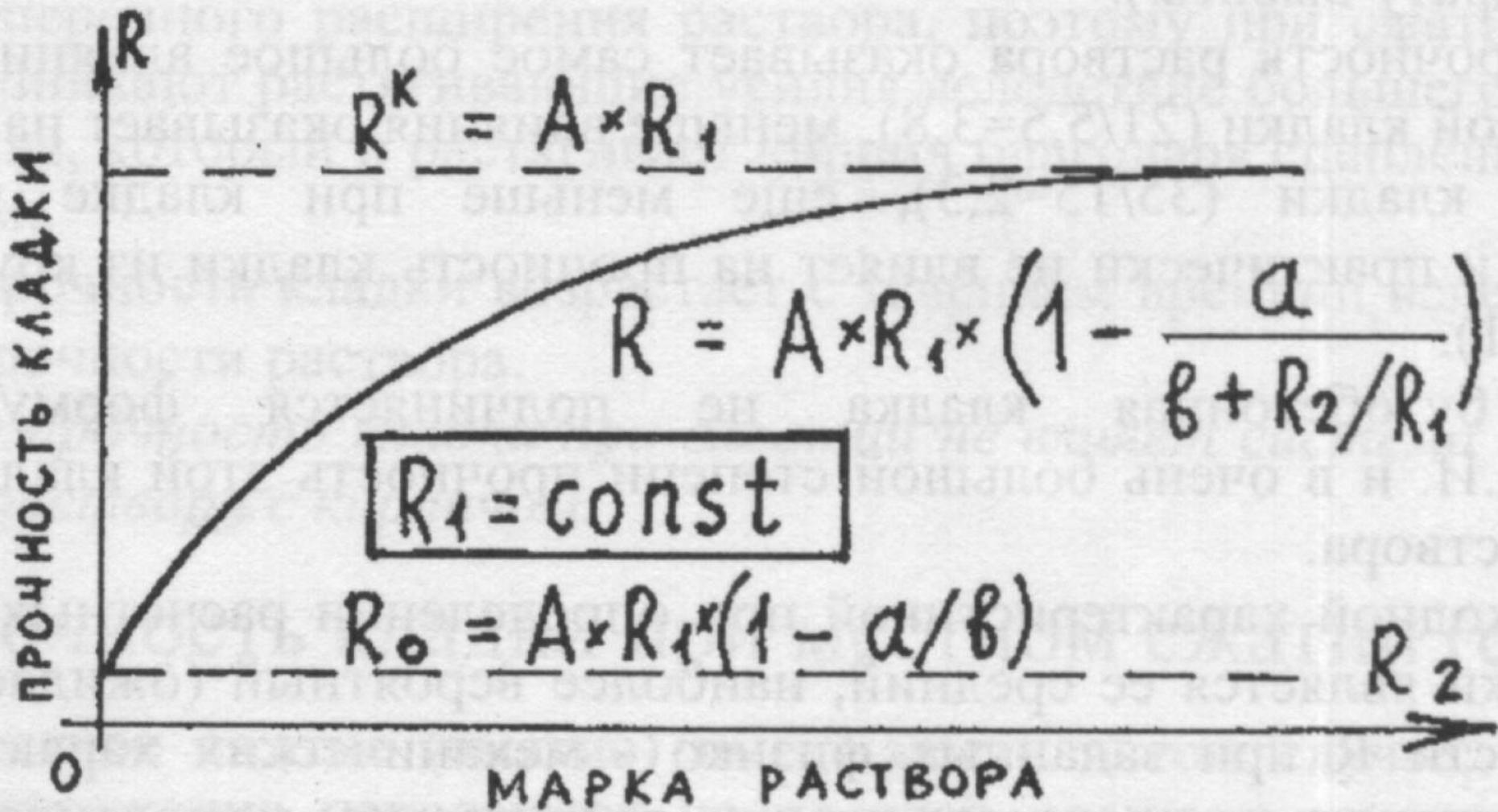


Рис. 2.6.

При  $R_1 = \text{const}$  зависимость для  $R$  показана на *рис.2.1*. Если  $R_2 = 0$ , то

$$R_0 = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right); \quad \frac{a}{b} < 1,$$

где  $R_0$  – прочность кладки на свежесуложенном растворе.

Если  $R_2 = \infty$ , то  $R = A \cdot R_1$ , где  $A < 1$ , т.е. меньше  $R_1$ .

Из графика (рис.2.6) следует:

Во-первых, кладка обладает начальной прочностью  $R_0$  даже при нулевой прочности раствора;

Во-вторых, даже при самых прочных растворах прочность камня используется не полностью (**10-30%**), т.к.  $A < 1$ .

Поэтому применение для обычных кладок растворов высоких марок (более 75) неэкономично.

На рис.2.7 показаны графики зависимости прочности разных кладок при прочности камня  $R_1 = 100 \text{ кг/см}^2$  (марка камня 100).

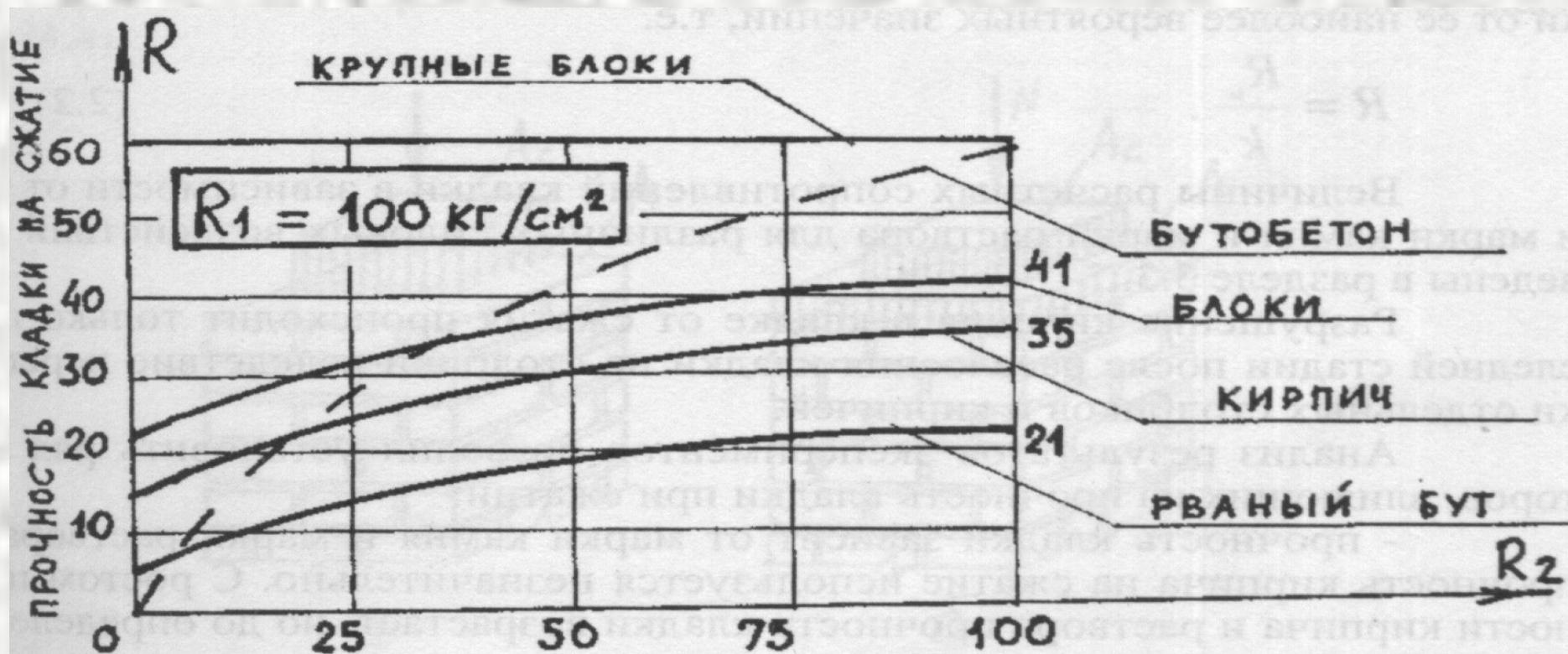


Рис. 2.7.

Выводы из графика на рис. 2.7:

- Прочность кладки меньше всего используется в бутовой кладке из-за неровности постели рваного бута;
- Прочность кладки из камней правильной формы возрастает с увеличением высоты камня (возрастает сопротивление камня изгибу, т.к. момент сопротивления возрастает пропорционально квадрату высоты);

- Прочность раствора оказывает самое большое влияние на прочность бутовой кладки ( $21/5,5=3,8$ ), меньше на прочность кирпичной кладки ( $35/15=2,3$ ), еще меньше на кладку из блоков ( $41/24=1,7$ ) и практически не влияет на кладку из крупных блоков ( $60/60=1$ ).
- Прочность бутобетонной кладки в очень большой степени зависит от марки раствора.

Расчетное сопротивление кладки  $R$  определяется делением среднего (ожидаемого) предела прочности кладки  $R_u$  на коэффициент безопасности, учитывающий статистические и др. факторы, которые могут вызвать неблагоприятные отклонения прочности кладки, т.е.

$$R = \frac{R_u}{k}$$

Разрушение кирпича в кладке от сжатия происходит только в последней стадии после расслоения кладки на столбики вследствие перегрузки отдельных столбиков и кирпичей.

Экспериментально установленные факторы, влияющие на прочность кладки при сжатии:

- прочность кладки зависит от марки камня и марки раствора, но прочность кирпича на сжатие используется незначительно. С увеличением прочности кирпича и раствора прочность кладки возрастает до определенного предела;

При сжатии отдельные кирпичи в кладке работают на изгиб и срез, поэтому марка кирпича устанавливается из его прочности на сжатие и изгиб. Изгиб и срез отдельных кирпичей происходит вследствие неравномерной плотности раствора в шве; в бóльшей степени это проявляется при слабых растворах;

На прочность кладки влияют:

- форма поверхности кирпича и толщина шва: чем ровнее кирпич и тоньше шов, тем прочнее кладка;
- размер сечения кладки (толщина стены): при уменьшении размеров сечения кладки ее прочность возрастает (отчасти из-за уменьшения количества швов);
- различие деформативных свойств кирпича и раствора.

Поперечное расширение кирпича при сжатии в 10 раз меньше поперечного расширения раствора, поэтому при сжатии кладки в кирпиче возникают растягивающие усилия в результате бóльшего удлинения раствора шва, который и растягивает кирпич из-за сцепления кирпича с раствором;

Прочность кладки возрастает с течением времени вследствие возрастания прочности раствора.

# Деформативность каменной кладки

Деформации в каменной кладке:

- Объемные во всех направлениях, вследствие усадки раствора и камня или от изменения температуры;
- Силовые, развивающиеся, главным образом, вдоль направления действия сил.

Усадочные деформации кладки  $\varepsilon_{st}$  зависят от материала кладки. Для бетонных камней и силикатного кирпича  $\varepsilon_{st}=3 \cdot 10^{-4}$ , а для глиняного кирпича усадку можно не учитывать в виду ее малости.

Температурные деформации кладки также зависят от материала кладки. Для глиняного кирпича  $\alpha_t=0,5 \cdot 10^{-5}$ , а для силикатного кирпича и бетонных камней  $\alpha_t=1 \cdot 10^{-5}$ .

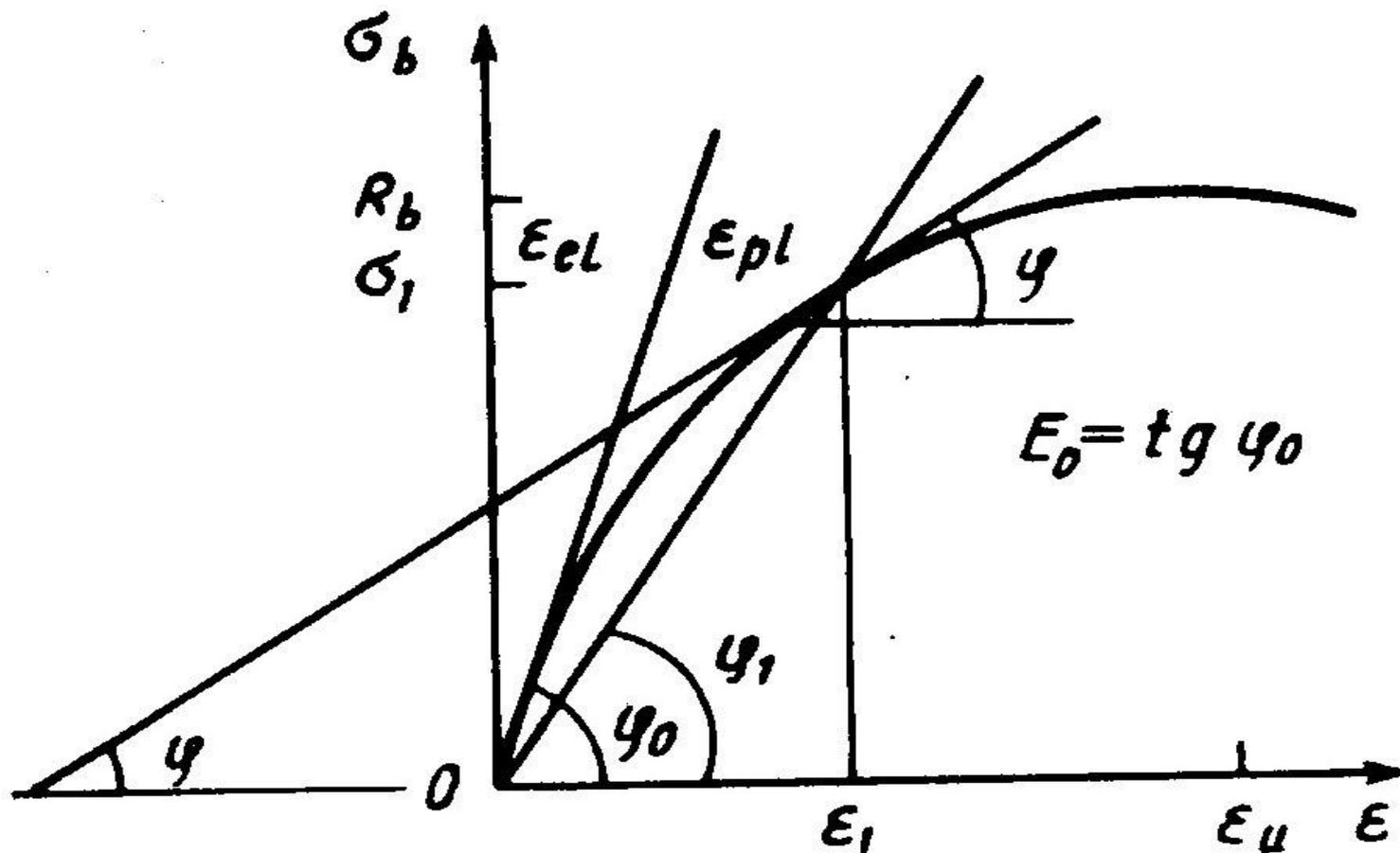
Каменная кладка является упругопластическим материалом.

Полные деформации кладки:

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$$

Силовые деформации будут зависеть от характера приложения нагрузки и могут быть 3 видов:

- Деформации при однократном загрузении кратковременной нагрузкой;
- Деформации при длительном действии нагрузки;
- Деформации при многократно повторных нагрузках.



**Рис. 11.6.** Зависимость «напряже-  
ние — деформация» кирпичной кладки  
при сжатии

Значения модуля упругости пропорциональны  
временному сопротивлению кладки:

$$E_0 = \alpha \cdot R_u,$$

*где  $\alpha$  – характеристика упругих свойств кладки, зависящая от  
вида кладки и марки раствора*

Значения модуля упругости для кладки с продольным армированием пропорциональны временному сопротивлению кладки армированной кладки :

$$E_0 = \alpha \cdot R_{sku}, \quad R_{sku} = kR + \frac{R_{sn}\mu}{100}; \quad \mu = \frac{A_s}{A_k} 100;$$

где  $\alpha$  – характеристика упругих свойств кладки, зависящая от вида кладки и марки раствора;

## Упругая характеристика кладки с сетчатым армированием:

$$\alpha_{sk} = \alpha \frac{R_u}{R_{sku}}, \quad R_{sku} = kR + \frac{2R_{sn}\mu}{100},$$

*где  $\alpha$  – характеристика упругих свойств кладки, зависящая от вида кладки и марки раствора;*

*$k = 2,0$  – для кладки из кирпича всех видов, из крупных блоков, рваного бута и бутобетона, кирпичная вибрированная*