

**КАЗАХСКАЯ ГОЛОВНАЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**

**Дисциплина «Технология бетона-1»**

**Лекция 7. Структура бетона**

**Акад.проф.Колесникова И.В.**

# УРОВНИ СТРУКТУРЫ БЕТОНА

## МАКРОСТРУКТУРА

Бетон - как система «матрица(растворная составляющая) – контактная зона-крупный заполнитель».

В матрице рассматриваются поры – пространства различного происхождения, не заполненные растворным веществом

## МЕЗОСТРУКТУРА

Бетон - как система «матрица (цементный камень)-контактная зона-мелкий заполнитель»

## МИКРОСТРУКТУРА

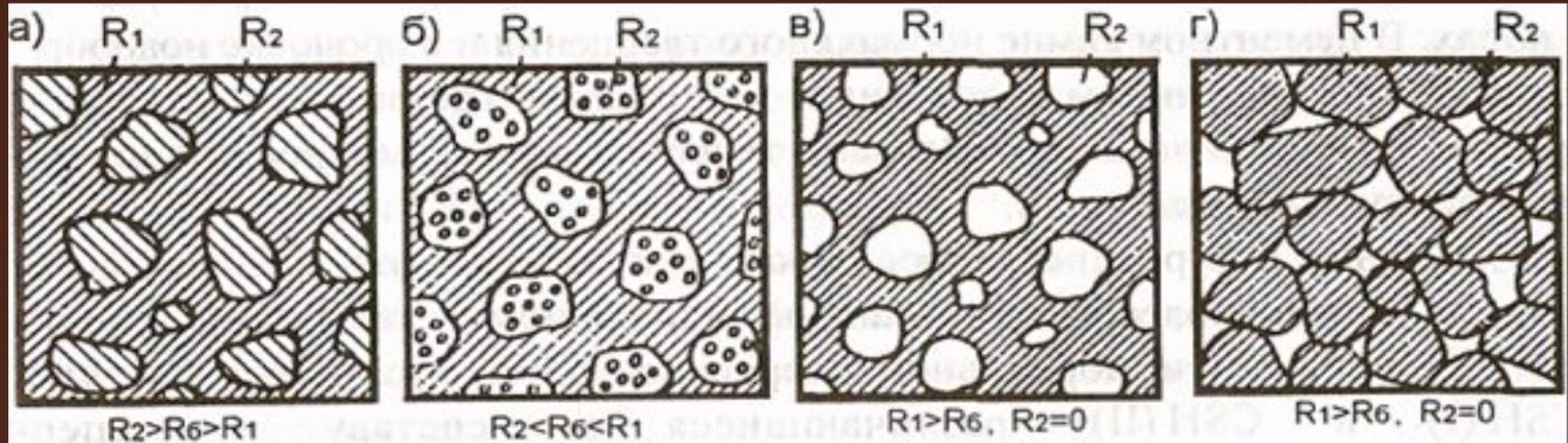
Строение цементного камня.

В цементном камне выделяют кристаллический сросток (каркас), цементный гель («цементный клей») и поры

## КЛАССИФИКАЦИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ :

-по содержанию и размещению цементного камня

-по плотности



**Основные типы макроструктуры бетона: а – плотная; б – плотная с пористым заполнителем; в – ячеистая; г – зернистая:  $R_6$  – средняя прочность структуры;  $R_1$  и  $R_2$  – прочностии составляющих бетона**

Плотная структура может иметь контактное расположение заполнителя, когда его зерна соприкасаются друг с другом через тонкую прослойку цементного камня, и «плавающее» расположение заполнителя, когда его зерна находятся на значительном удалении друг от друга.

## Анизотропность (изотропность) макроструктуры бетона



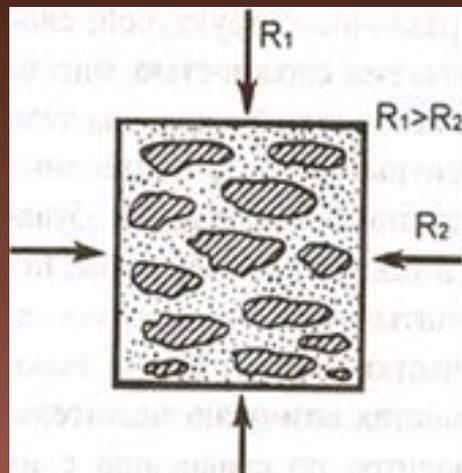
### Неоднородность макроструктуры бетона

Элементарная ячейка структуры бетона

- 1 – зерна заполнителя;
- 2– контактная зона;
- 3–зона ослабленной структуры вследствие седиментации;
- 4– воздушные пузырьки;
- 5 – зона уплотнений структуры;
- 6 –крупные седиментационные поры

В контактной зоне содержатся более или менее дефектные места, непрореагировавшие зерна, микротрещины.

Структура бетона доброкачественная, если  $V/C_{ист} = (0,86...1,65)НГ$



Прочность бетона с лещадным заполнителем

# МИКРОСТРУКТУРА БЕТОНОВ

Характеризуется строением цементного камня

Микроструктура цементного камня состоит из :

- непрореагировавших зерен цемента
- новообразований
- микропор различных размеров

По своему строению она напоминает бетон (если считать непрореагировавшие зерна заполнителем). Проф. В. Н. Юнгом подобная структура была образно названа «микробетоном».

## **Новообразования**

### **-гидросиликаты кальция.**

Состав и строение гидросиликатов зависят от отношения  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  (C/S). Наиболее распространены гидросиликаты кальция тоберморитовой группы. При нормальном твердении образуются минералы типа CSH (I) и CSH (II).

CSH (I) - гидросиликаты кальция переменного состава с соотношением  $\text{C/S} = 0,8 \dots 2$ ,

CSH(II) - гидросиликаты кальция с соотношением  $\text{C/S} = 1 \dots 1,5$

C – S – H - полукристаллические и аморфные формы гидросиликата кальция

- **кристаллы гидроксида кальция** (минерал портландит) выделяются в поровом пространстве между клинкерными зернами, на поверхности воздушных пор, в системе гидросиликатного геля, иногда срастаясь с кристаллами других минералов.
- **гидроалюминаты кальция и гидросульфалюминаты**

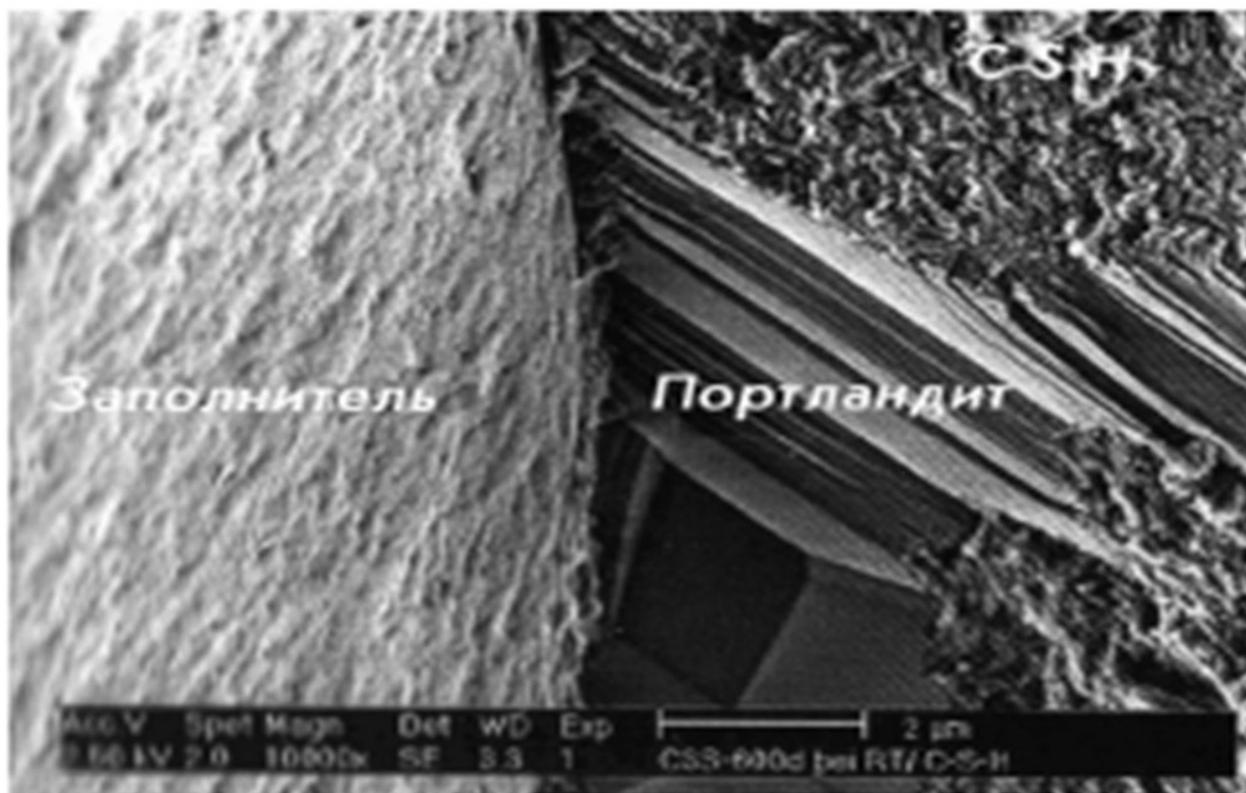
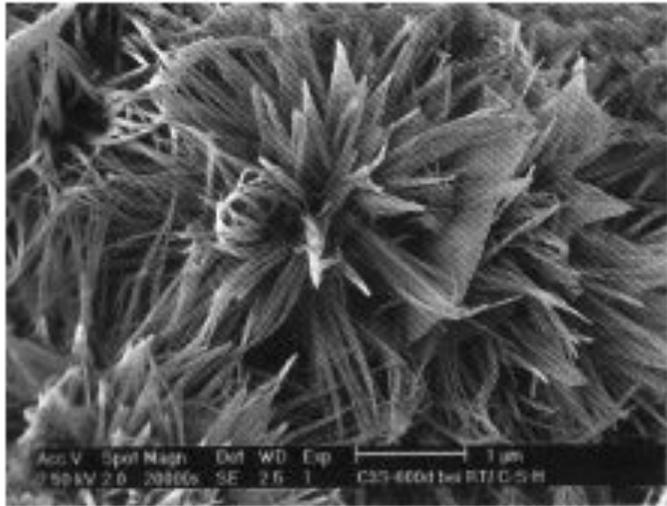
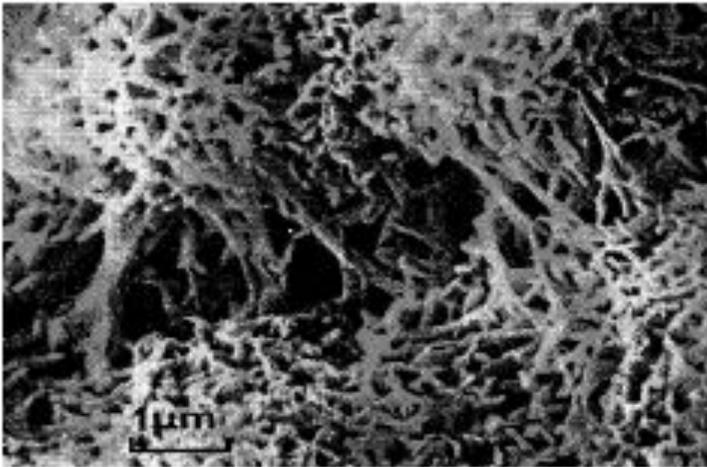


Рисунок 4 – Гель С-С-Н и сrostки кристаллов портландита в структуре затвердевшего камня. Снимок сделан с помощью СЭМ.



а

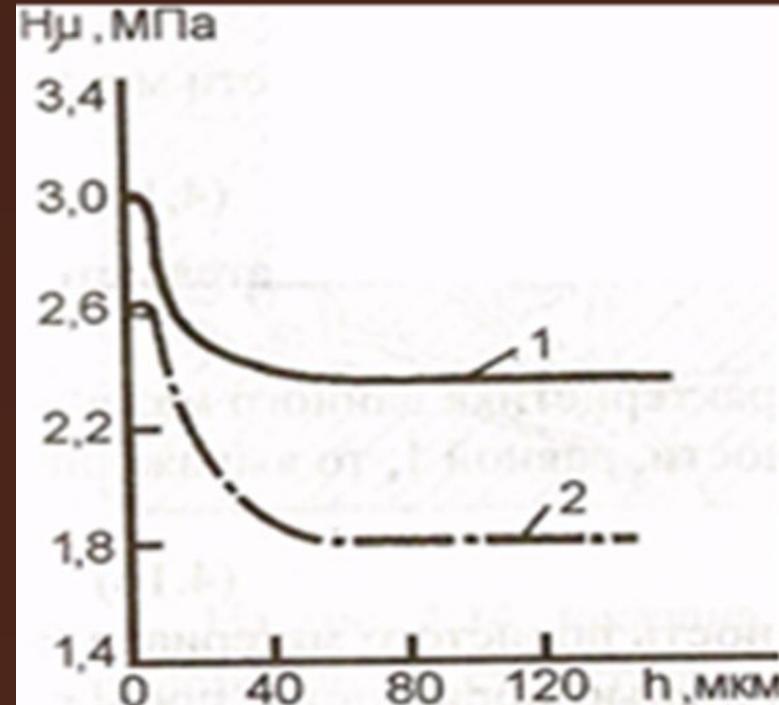


б

Рисунок 11 – Гель C-S-H волокнистой (а) и дендритоподобной (б) морфологии

## Микроструктура бетона зависит от:

- минералогического состава вяжущего
- условий твердения
- микроструктуры и природы заполнителя



Изменение  
микротвердости  
цементного камня в  
контактной зоне  
у поверхности  
заполнителя:  
1 – гранит; 2 - кварц

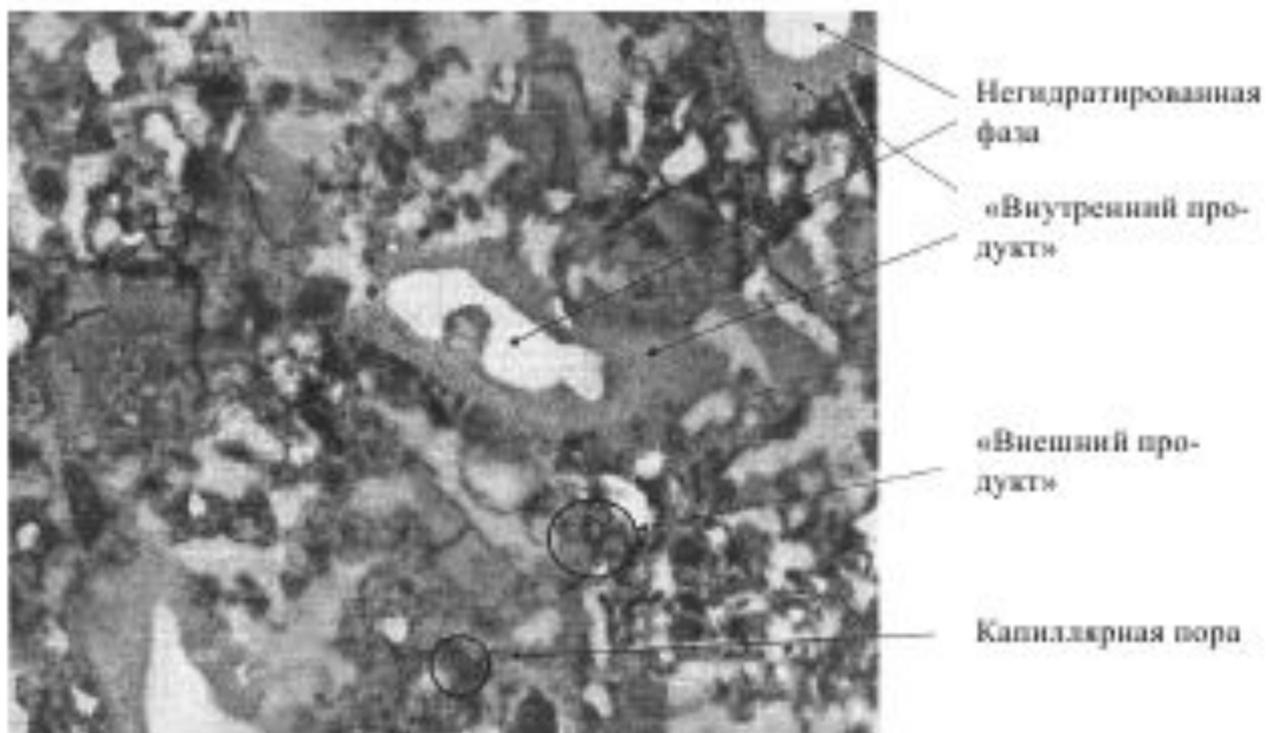
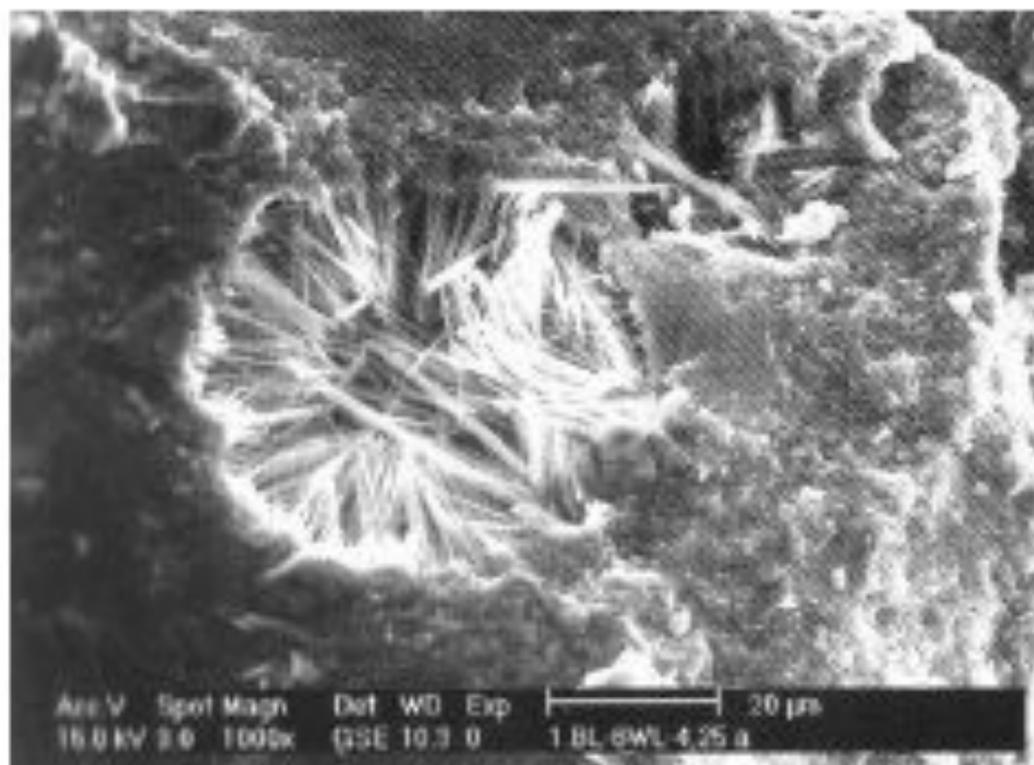


Рисунок 12 – Внутренний и внешний продукты гидратации (электронно-микроскопический снимок)



б

Рисунок 6 – Электронно-микроскопические фотографии этtringита:  
а) сросток кристаллов этtringита; б) пора цементного камня, заросшая кри-  
сталлами этtringита

Неоднородность микроструктуры обусловлена:

- участками, сложенными различными минералами
- глобулами цементных зерен с постепенно убывающей к их поверхности плотностью
- контактной зоной между глобулами, состоящей из различных новообразований
- распределением и различными характеристиками микропористости
- дефектами структуры

**Микрорасслоение** : отдельные объемы цементного камня имеют различное В/Ц и, соответственно, структуру

# ПОРИСТОСТЬ БЕТОНА

Бетон - капиллярно-пористое тело.

## Классификация пор бетона

### 1. По происхождению:

- рецептурная пористость, обусловленная составом бетонной смеси, в том числе наличием порообразующих добавок
- собственная (контракционная) пористость
- технологическая пористость, обусловленная процессами при уплотнении смеси и твердении бетона (пустоты вследствие недоуплотнения, дефекты в структуре вследствие нерационального режима тепловлажностной обработки и т.п.)
- эксплуатационная, обусловленная изменениями в структуре бетона вследствие воздействия агрессивных сред либо силовых факторов

## 2. По отношению к воде различают пористость (см. раздаточный материал):

- открытую, доступную для насыщения водой при обычных условиях
- условно-замкнутую, недоступную для насыщения водой при обычных условиях
- капиллярную, способную удерживать воду внутри пор при действии силы тяжести (вода не вытекает из этих пор при извлечении бетона из воды). Капилляры разделяют на макро – и микрокапилляры. Из микрокапилляров вода испаряется при относительной влажности воздуха более 75%
- некапиллярную, не способную удерживать воду внутри пор при действии силы тяжести

## 3. По размеру различают пористость (существуют различные классификации пористости – см. раздаточный материал) :

- макро (более 1000 А)
- мезо (15-1000 А)
- микро (6-15 А)
- ультрамикро ( менее 6 А)

# СНИЖЕНИЕ ПОРИСТОСТИ БЕТОНА

ВОЗМОЖНО за счет:

- уменьшения величины В/Ц, водосодержания бетонной смеси
- повышения степени гидратации цемента, обеспечивая длительное твердения бетона в благоприятных условиях
- уменьшения объема цементного камня в бетоне (цементный камень является «носителем пористости в бетоне)
- уплотнения бетона применением механического воздействия, химических добавок