

Дисциплина «Технология бетона -1 «
Лекция №6

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БЕТОНА

Акад.проф.Колесникова И.В.

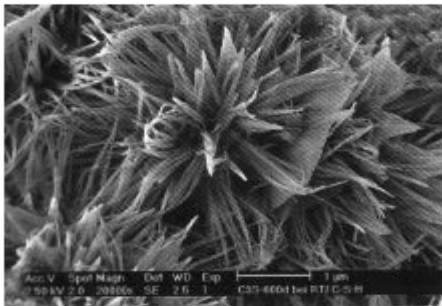
Время от момента затворения бетонной смеси до момента резкого возрастания прочности называют **периодом формирования структуры**

1 стадия

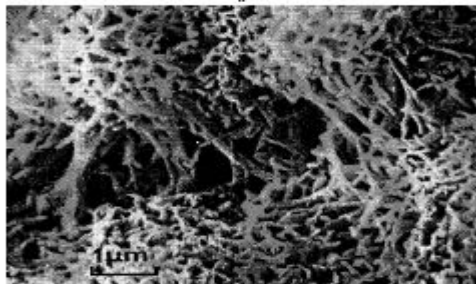
- в процессе гидролиза трехкальциевого силиката выделяется гидроксид кальция, образуя перенасыщенный раствор (гидроксид кальция, ионы сульфата, гидроксида, щелочей, а также небольшое количество кремнезема, глинозема и железа)
- из перенасыщенного раствора начинается процесс выделения новообразования – гидроксид Ca – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и эттрингит $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ или ГСАК

2 стадия (через 1 час после затворения водой) – «скрытый», или индукционный период

- образование мелких гидросиликатов кальция CSH - гидратные фазы, называемые цементным гелем (гидросиликатным) характеризуются чрезвычайно тонкой гранулометрией
- с увеличением количества новообразований и плотности их упаковки пограничный слой становится малопроницаемым для воды (2–6 часов)



а



б

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

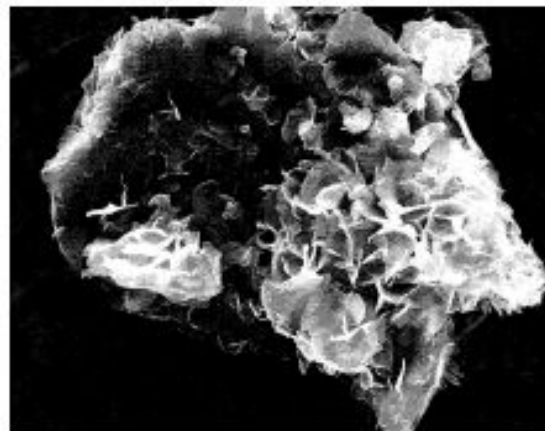


Рисунок 5 – Частица C₃A, покрытая чешуйками гидроалюминатов кальция

Цементное тесто представляет собой плотную суспензию, стабилизированную действием флоккулообразующих сил, силы притяжения между цементными частицами малы.

Тесто приобретает связность и подвижность:

- происходит постепенное поглощение поверхностными оболочками цементных зерен воды, толщина прослоек между зернами уменьшается, постепенно понижается подвижность теста и бетонной смеси.
- в гелевых оболочках появляется осмотическое давление
- внутренние слои цементных зерен, реагируя с водой, стремятся расширяться
- наступает разрушение гелевых оболочек, отмечается доступ воды к внутренним слоям цементных зерен, ускоряется процесс гидратации.

3-я стадия - начало кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из раствора

- происходит свободный рост частичек $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и ГСАК в виде длинных волокон, которые делят крупную пору на более тонкие с помощью ВОЛОКНИСТЫХ «МОСТКОВ»

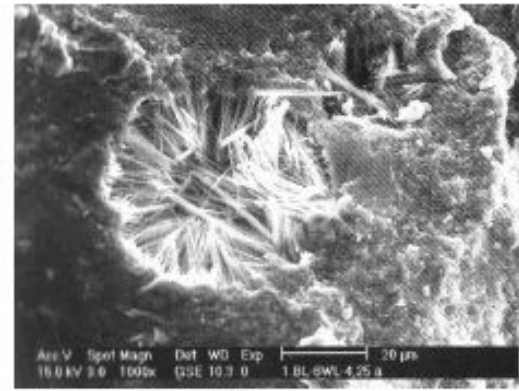
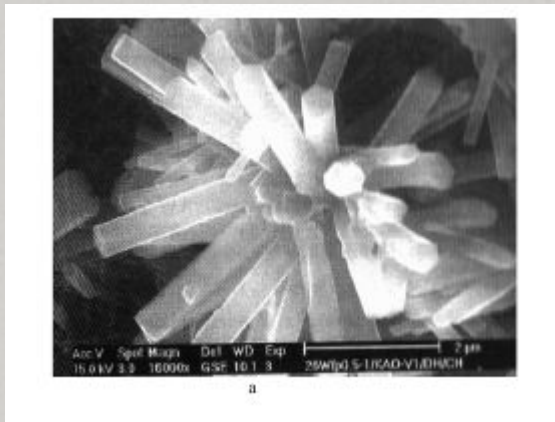


Рисунок 6 – Электронно-микроскопические фотографии этtringита:
а) сросток кристаллов этtringита; б) пора цементного камня, заросшая кристаллами этtringита

- возникают пространственные связи, усиливающие сцепление между гидратными фазами и зернами цемента
- между гидратными фазами возникают непосредственные контакты, число их множится – цементное тесто схватывается и затвердевает, образуя цементный камень

- структура уплотняется: в заполненных водой порах непрерывно появляются новые гидратные фазы
- объем пор и их размеры уменьшаются, возрастает количество контактов кристаллов и коллоидных частиц, утолщаются и уплотняются гелевые оболочки на зернах цемента, срастающиеся в сплошной цементный гель с включением непрореагировавших частиц цемента

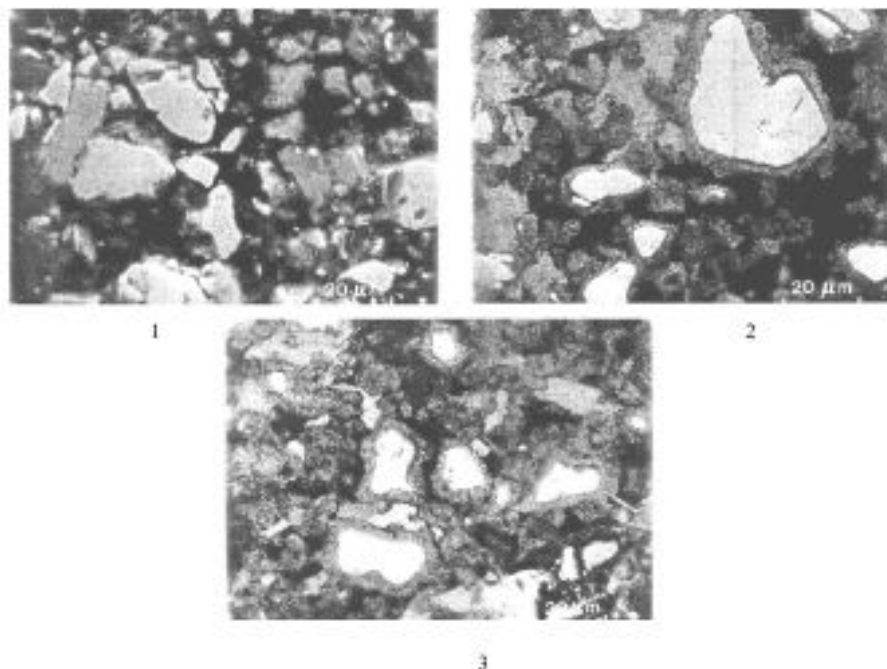


Рисунок 18 – Структура цементной пасты
в возрасте, сут: 1 – 1; 2 – 3; 3 – 28

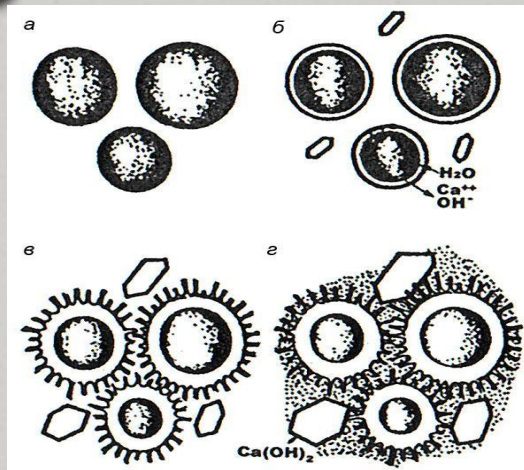


Схема процесса преобразований в структуре цементного теста и камня при гидратации цемента

а – цементные зерна в начальный период гидратации; б – образование гелевой оболочки на цементных зернах – скрытый период гидратации; в – вторичный рост гелевой оболочки после осмотического разрушения первоначальной оболочки, образование волокнистых и столбчатых структур на поверхности зерен и в порах цементного камня – третий период гидратации; г – уплотнение структуры цементного камня при последующей гидратации цемента

Снаружи появляется 55 % новообразований, а 45 % остается внутри первоначальной границы зерна

В конце гидратации размеры волокон гидросиликатов кальция могут быть в 10–100 раз меньше размеров первоначальных волокон

В геле полностью гидратированного цемента остаются внутренние пустоты, называемые порами геля (новообразованиями (15×10^{-8} , 40×10^{-8} см), в которых невозможно образование зародышей, они остаются незаросшими новообразованиями (пористость геля составляет 28 %)

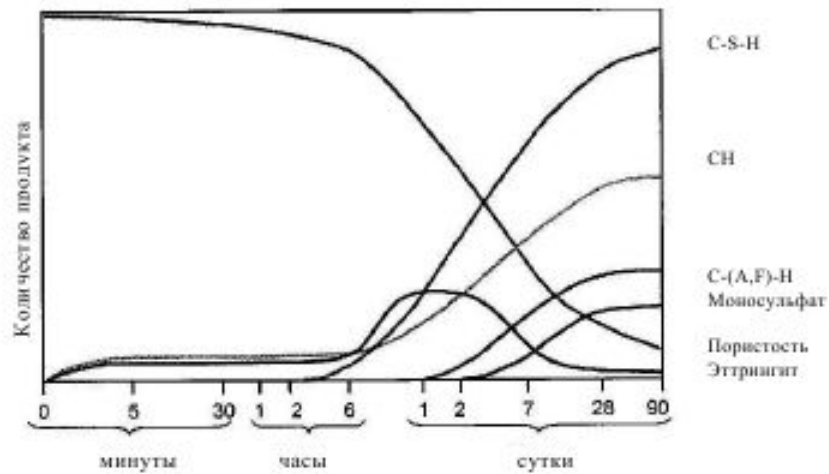


Рисунок 19 – Приблизительные соотношения между продуктами в различные периоды гидратации и пористостью.

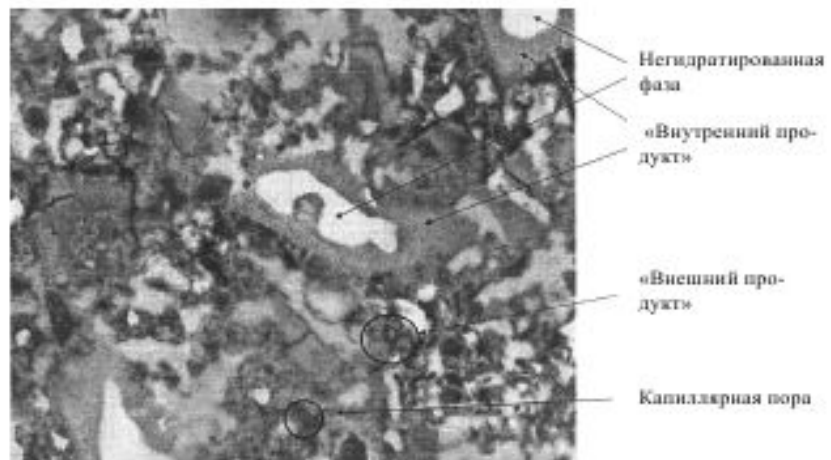


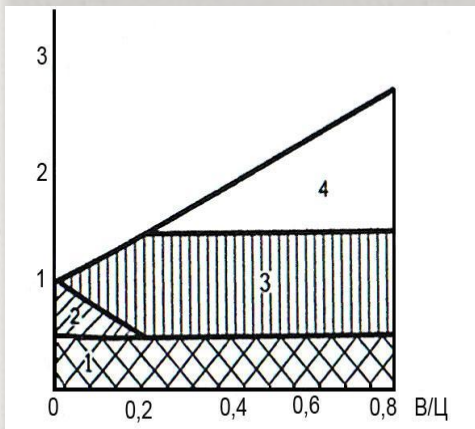
Рисунок 12 – Внутренний и внешний продукты гидратации (электронно-микроскопический снимок)

Цемент гидратируется длительное время (десятки, иногда сотни лет)

Степень его гидратации к определенному времени

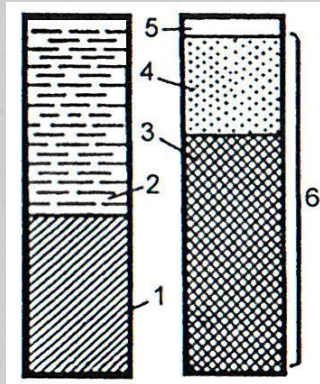
$$a = w_t / w_{\text{полн}}$$

W-количество
связанной воды



Изменение состава цементного камня с минеральными наполнителями после полной гидратации цемента в зависимости от В/Ц:

1 — минеральный наполнитель; 2 — негидратированный цемент; 3 — цементный гель; 4 — капиллярная вода (поры)



Изменение объема твердой и жидкой фазы в системе цемент–вода при гидратации цемента ($V/C < 0,5$): 1 — объем негидратированного цемента; 2 — первоначальный объем воды; 3 — объем твердой фазы гидратированного цемента; 4 — объем гелевой воды; 5 — объем контракционных пор; 6 — объем цементного геля вместе с порами

КОНТРАКЦИЯ

Гидратированный цемент занимает объем в 2.1–2.2 раза больший, чем негидратированный, но меньший, чем суммарно объем цемента и связанной воды (на 0,254 от объема воды)

Уменьшение объема системы вода-цемент в процессе гидратации называется *контракцией*

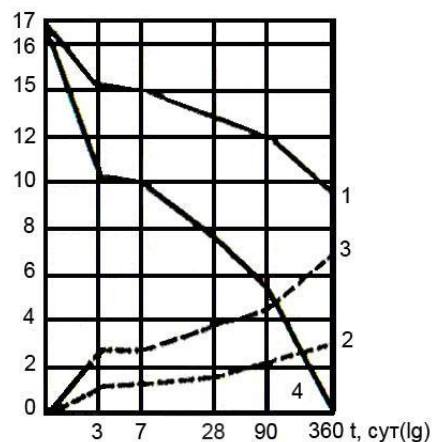
Составляет 7–9 мл на 100 г цемента

Зависит от:

- минералогического состава цемента,
- помола цемента,
- *В/Ц*,
- содержания добавок и др

По данным С. Брунауэра и Т. Пауэрса,
общее количество связанной воды при полной гидратации
цемента (в геле) составило 47–52 %.

- ❑ при твердении бетона **без доступа воды** извне для полной гидратации цемента необходимо, чтобы **В/Ц было больше 0,5**.
- ❑ при твердении бетона **в водных условиях** полная гидратация возможна **при В/Ц = 0,38**
- ❑ **при В/Ц, меньших 0,38** полная гидратация цемента **НЕВОЗМОЖНА**



Изменение пористости бетона в процессе твердения:

- 1 — общая пористость; 2 — контракционная пористость;
- 3 — пористость геля; 4 — капиллярная пористость

ИЗМЕНЕНИЕ ПОРИСТОСТИ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

- при $V/C > 0,5$ - капиллярные поры,
- при V/C 0,38-0,5 - капиллярные поры, контракционная пористость, поры геля
- при $V/C < 0,38$ - отсутствуют капиллярные поры, цементный камень состоит из геля, но в нем обязательно сохраняются непрореагировавшие частицы цемента, способствующие уплотнению материала и повышению его

По данным Ю.М. Баженова,

если при V/C 0,5 капиллярная пористость в цементном камне достигает 61 %, то в бетоне при расходе воды 170 л и цемента 340 кг она уменьшается до 17 %,

т. е. для уменьшения капиллярной пористости на 1 % необходимо:

- ❖ уменьшить расход воды на 10 л/м³
- ❖ или увеличить расход цемента на 20–35 кг/м³.