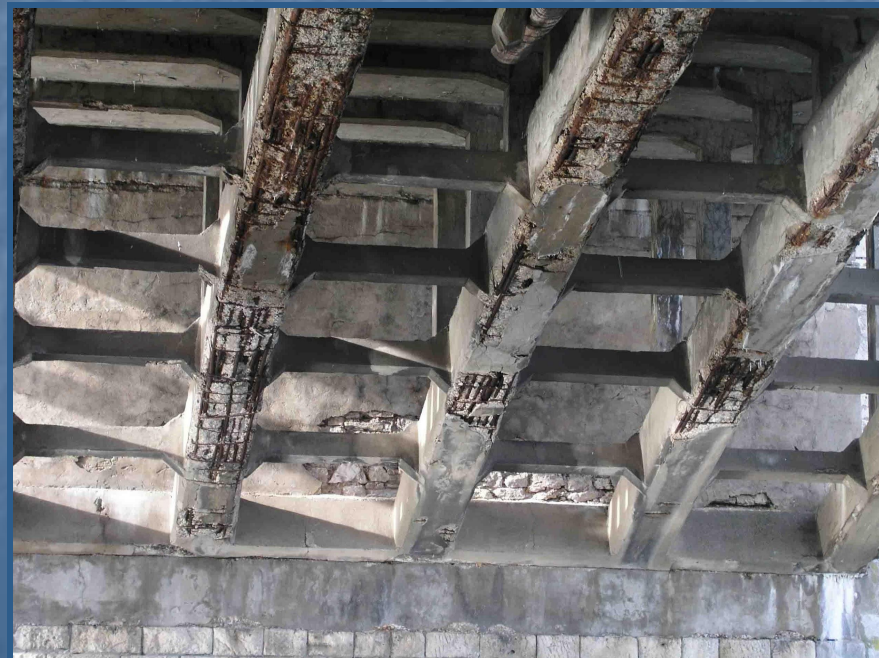


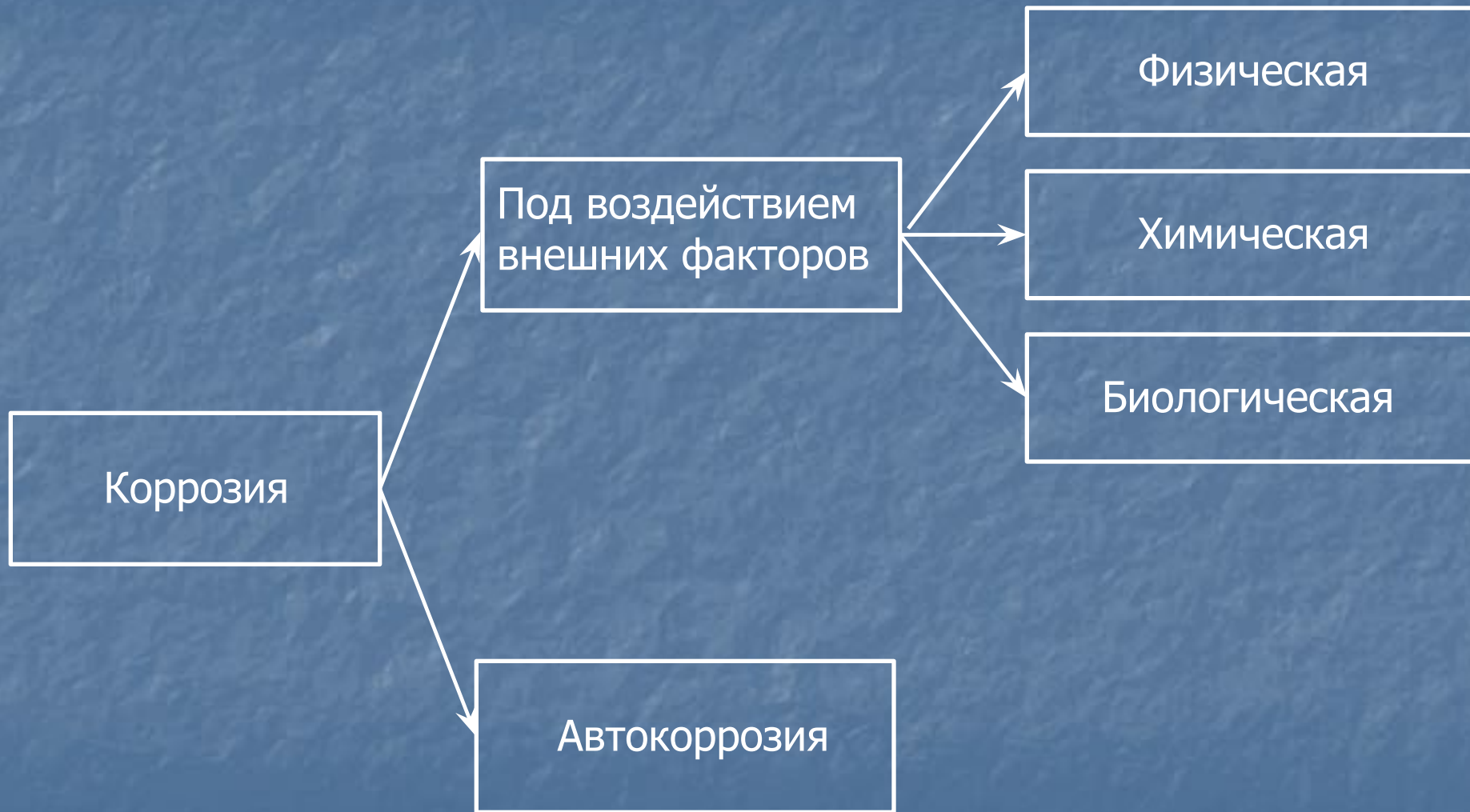
Коррозия цементного камня и бетона

Коррозия цементного камня и бетона – снижение прочностных характеристик материала под воздействием различных факторов вплоть до его разрушения.

Коррозия цементного камня и бетона часто сопровождается изменениями геометрических характеристик изделия

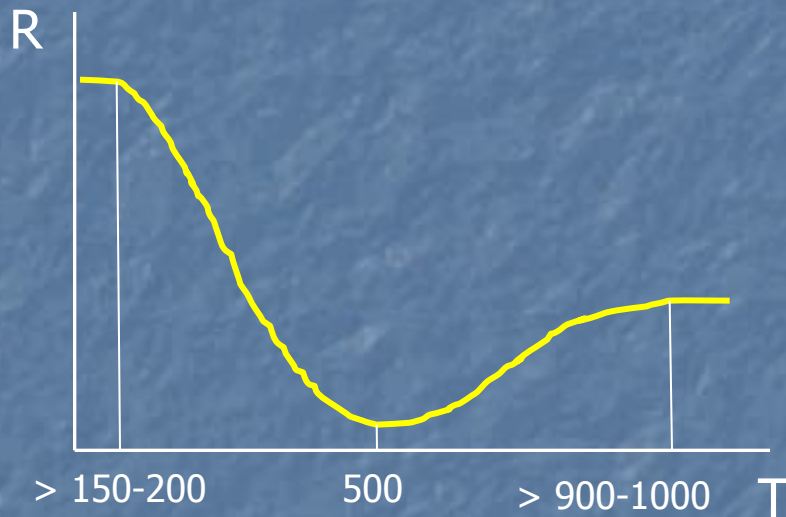


Классификация процессов коррозии



Физическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием повышенных температур

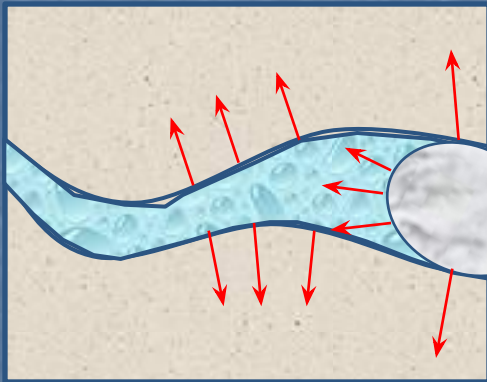


Причина – дегидратация кристаллогидратов цементного камня

Меры борьбы – введение в состав цемента тонкоизмельченных добавок (шамот, туф, трепел, огнеупоры) в количестве 50 – 200 % от массы цемента

Физическая коррозия цементного камня

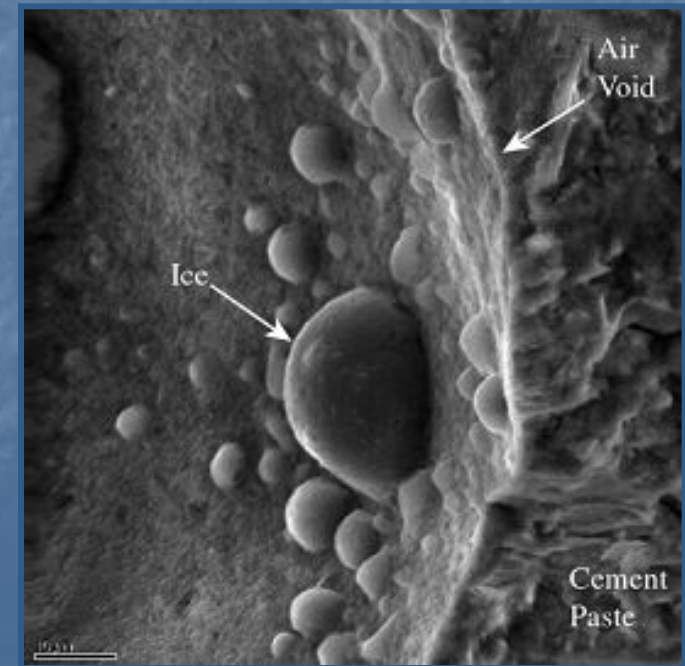
Коррозия под воздействием низких температур



Причина – увеличение объема при замерзании воды в лед в порах цементного камня (9 %) – давление льда на стенки пор, гидростатическое давление (до 2 – 3 МПа)

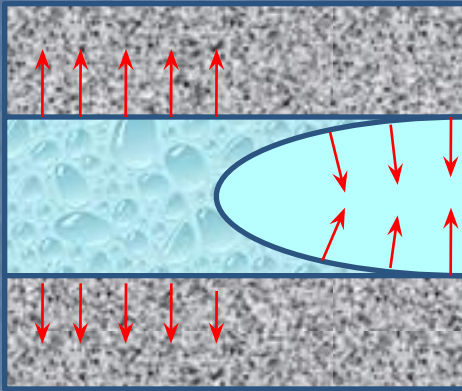
Меры борьбы:

- ❑ снижение пористости цементного камня;
- ❑ уменьшение среднего размера пор;
- ❑ использование воздухововлекающих добавок для создания демпфирующих (наполненных воздухом) пор диаметром 500 – 1000 мкм



Физическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием попеременного увлажнения - высыхания



Причина – возникновение капиллярного давления в частично заполненных водой порах цементного камня

$$p = \frac{2\sigma}{r} \cos\Theta$$

β - коэффициент линейного набухания, мм/м $\beta \approx 0,03$

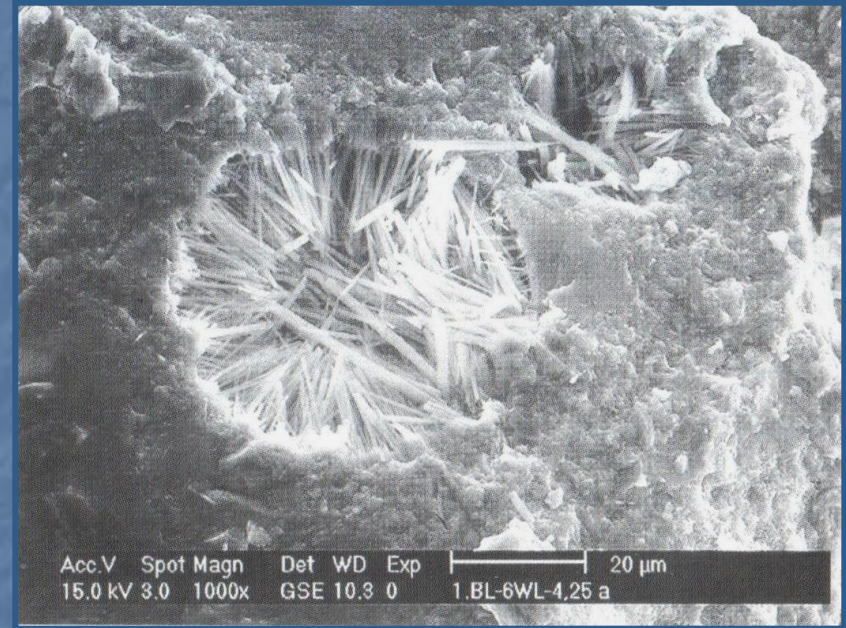
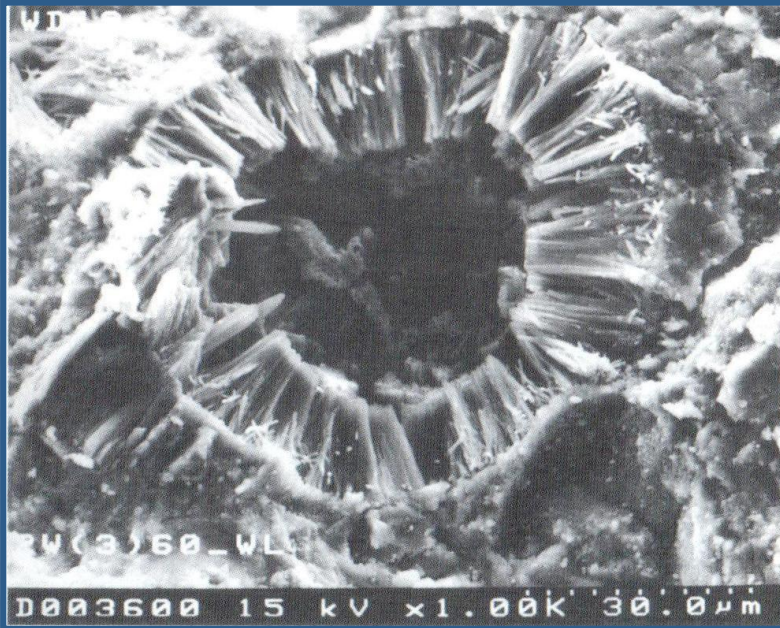
η - коэффициент линейной усадки, мм/м $\eta \approx 0,005$

Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня
- ☐ гидрофобизация поверхности пор цементного камня

Физическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием кристаллизации солей



Причина – давление растущих кристаллов на стенки пор

Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня
- ☐ гидрофобизация поверхности пор цементного камня

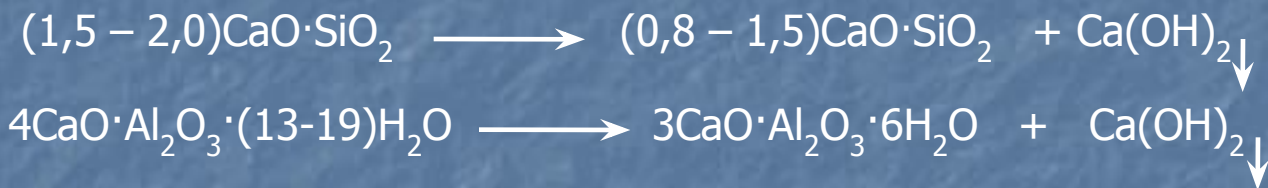
Химическая коррозия цементного камня

Коррозия выщелачивания под воздействием пресных вод

Причина – растворение в воде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (растворимость – 1,3 г/л),
вынос $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из цементного камня.

Все кристаллогидраты в цементном камне стабильны только при определенной концентрации ионов Ca^{2+} и OH^- .

Изменение концентрации ионов Ca^{2+} и OH^- приводит к разрушению и перекристаллизации основных кристаллогидратов:



Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня
- ☐ перевод $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в менее растворимые соединения
- ☐ снижение содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составе гидратированного цемента

Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием карбонатных вод, содержащих ионы CO_3^{2-} , HCO_3^-

Причина – переход Ca(OH)_2 в цементном камне в CaCO_3 .



Далее – по механизму действия коррозии под воздействием пресных вод

Образование CaCO_3 :

- ☐ интенсифицирует удаление Ca(OH)_2 из цементного камня;
- ☐ уплотняет структуру цементного камня, снижает его пористость

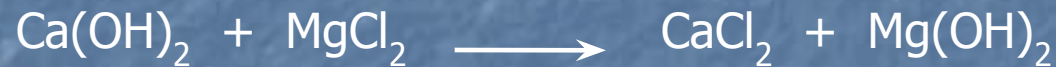
Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня
- ☐ перевод Ca(OH)_2 в менее растворимые соединения
- ☐ снижение содержания Ca(OH)_2 в составе гидратированного цемента

Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием магниальных вод, содержащих ионы Mg^{2+}

Причина – разрушение $Ca(OH)_2$ в цементном камне вследствие образования менее растворимого соединения $Mg(OH)_2$



Далее – по механизму действия коррозии под воздействием пресных вод

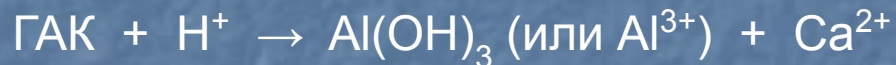
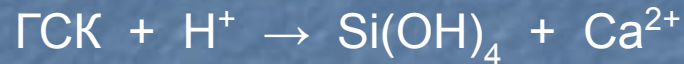
Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня
- ☐ перевод $Ca(OH)_2$ в менее растворимые соединения
- ☐ снижение содержания $Ca(OH)_2$ в составе гидратированного цемента

Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием кислых вод, содержащих ион H^+

Причина – разрушение кристаллогидратов в цементном камне



Меры борьбы:

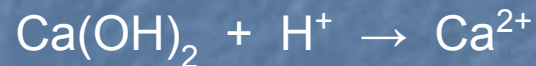
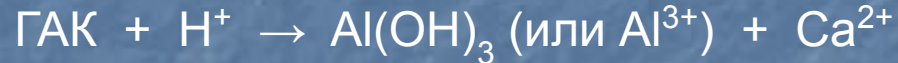
- ☐ снижение пористости и проницаемости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня

Химическая коррозия цементного камня

Коррозия под воздействием кислых газов



Причина – образование в цементном камне кислот при взаимодействии с водой, далее - по механизму действия кислотной коррозии



Меры борьбы:

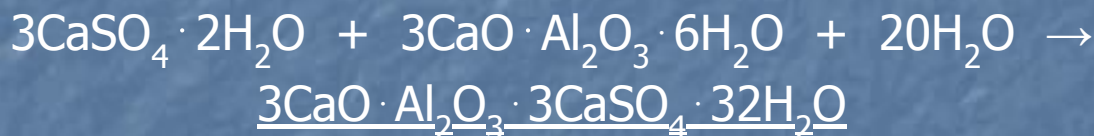
- ☐ снижение пористости и проницаемости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня

$$V_{\text{нач.}} = 3 \cdot (74/2,24) + (378/2,52) = 249,1$$

Химическая коррозия цементного камня

Сульфатная коррозия под воздействием вод, содержащих ионы SO_4^{2-}

Причина – образование в цементном камне этtringита со значительным (более чем в 2 раза) увеличением объема твердых кристаллических фаз



Этtringит – «цементная бацилла»

Расчет объемных изменений при образовании этtringита

Один моль этtringита образуется в результате реакции между одним молем $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и тремя молями $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, образовавшимися из трех молей $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и занимает их первоначальный объем.

$$V_{\text{молярн.}} = M / \rho$$

$$V_{\text{нач.}} = 3 \cdot (74 / 2,24) + (378 / 2,52) = 249,1 \text{ см}^3$$

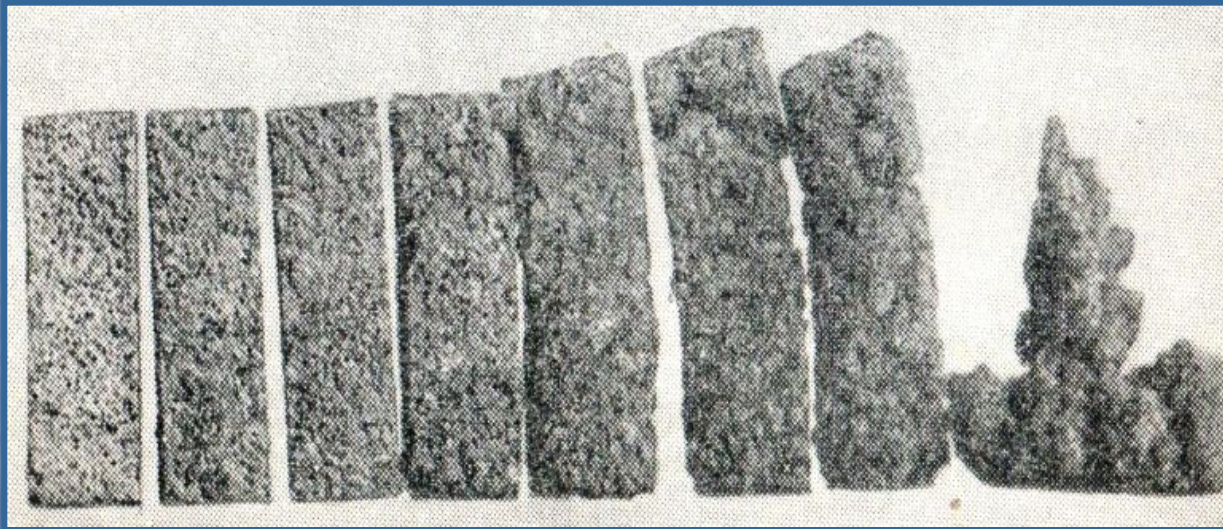
$$V_{\text{конечн.}} = 1254 / 1,77 = 708,5 \text{ см}^3$$

$$\text{Изменение объема} = V_{\text{конечн.}} / V_{\text{нач.}} = 708,5 / 249,1 = 2,84$$

Химическая коррозия цементного камня

Сульфатно – магнезиальная коррозия под воздействием вод, содержащих ионы SO_4^{2-} и Mg^{2+}

– усложняется и ускоряется коррозией под действием магнезиальных вод



Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня
- ☐ снижение содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составе гидратированного цемента
- ☐ снижение содержания гидроалюминатов в составе гидратированного цемента

Химическая коррозия цементного камня

Общие меры повышения коррозионной стойкости цементного камня:

«Слабые звенья» цементного камня:

Ca(OH)_2 – образуется при гидратации C_3S

ГАК – образуются при гидратации C_3A

- ☐ снижение содержания C_3S в цементе;
- ☐ связывание Ca(OH)_2 в цементном камне в менее растворимые соединения с помощью активных кремнеземсодержащих минеральных добавок;
- ☐ снижение содержания C_3A в цементе;
- ☐ снижение пористости и проницаемости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности затвердевшего цементного камня;
- ☐ гидрофобизация (поверхностная и объемная) цементного камня

Биологическая коррозия цементного камня

Биологическая коррозия – повреждения бетона, вызванные продуктами жизнедеятельности живых организмов (бактерии, грибы, мхи, лишайники и микроорганизмы), поселяющихся на поверхности строительных конструкций.

Бактерии, грибы, водоросли способны развиваться на поверхности бетона и проникать в капиллярно-пористую структуру материала.

Продукты их метаболизма (органические кислоты и щелочи) разрушают компоненты цементного камня (особенно в условиях высокой влажности).



Меры борьбы:

- ☐ снижение пористости цементного камня;
- ☐ гидроизоляция поверхности цементного камня;
- ☐ гидрофобизация поверхности пор цементного камня;
- ☐ введение в состав цемента биоцидных добавок

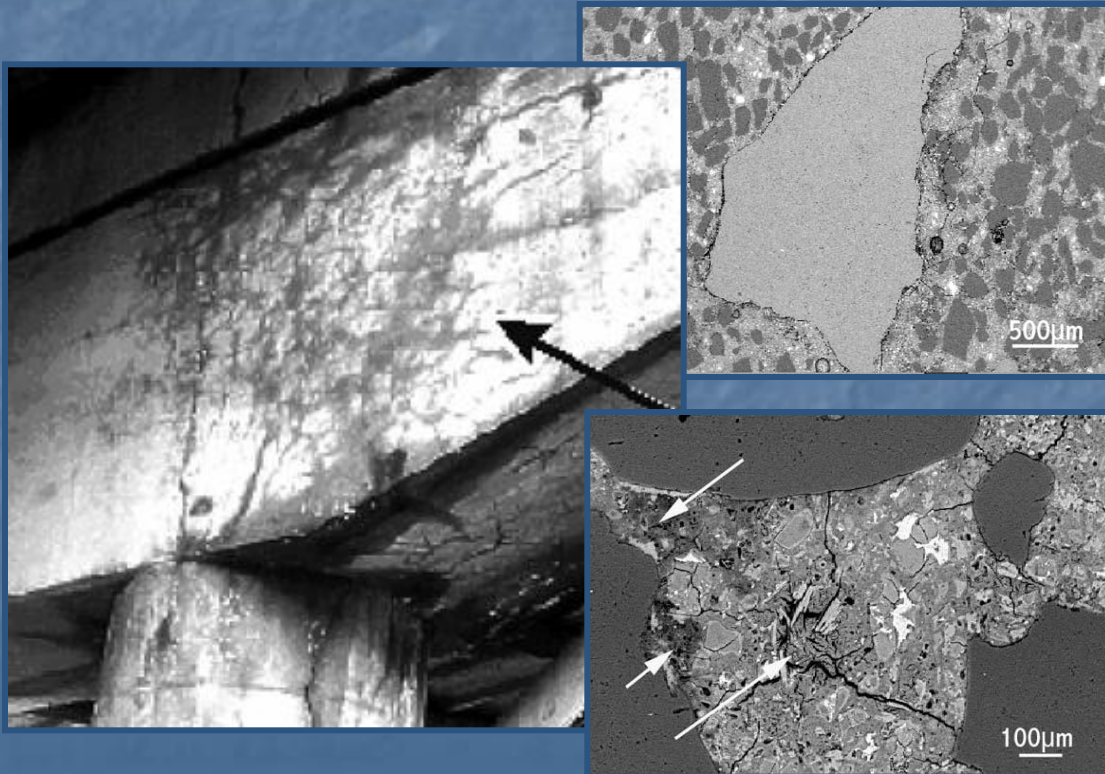
Коррозия цементного камня вследствие образования вторичного этtringита

Причина – предварительное твердение цемента:

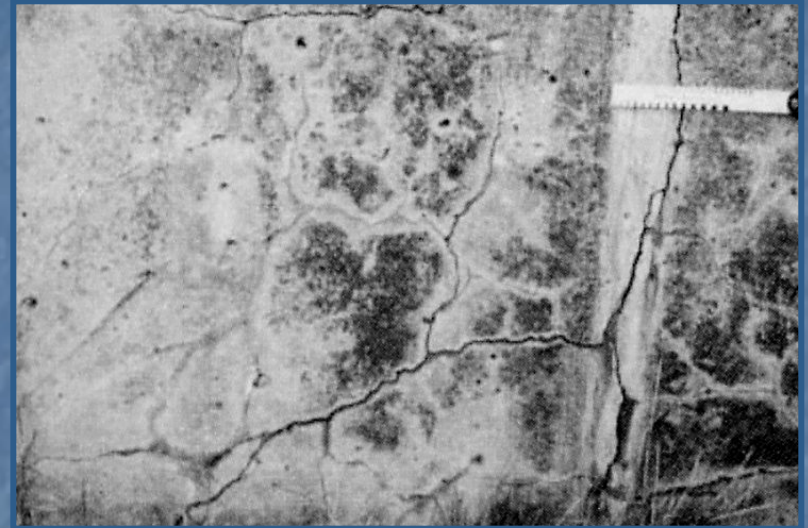
- при повышенных температурах (выше температуры стабильности этtringита);
- при недостатке воды в системе твердеющего цемента

Меры борьбы:

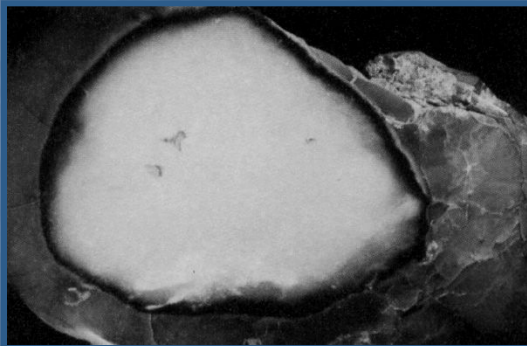
- тепловая обработка твердеющего цемента при температурах не более 80 °С;
- предотвращение потери влаги из цементного раствора;
- снижение скорости массопереноса в системе твердеющего цемента (уменьшение пористости, снижение среднего размера пор, объемная гидрофобизация пор)



Коррозия цементного камня и бетона вследствие реакций активного заполнителя со щелочами



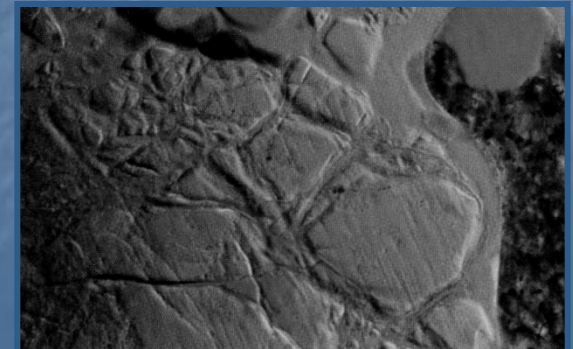
Причина – взаимодействие щелочей цемента (Na_2O , K_2O) с активным заполнителем в бетоне



Опал



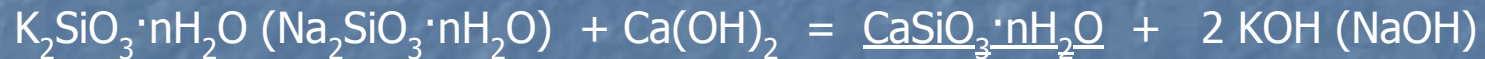
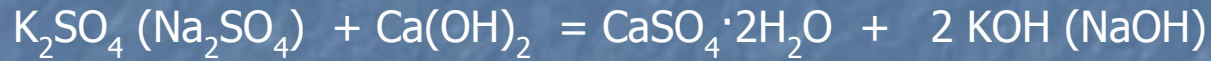
Халцедон



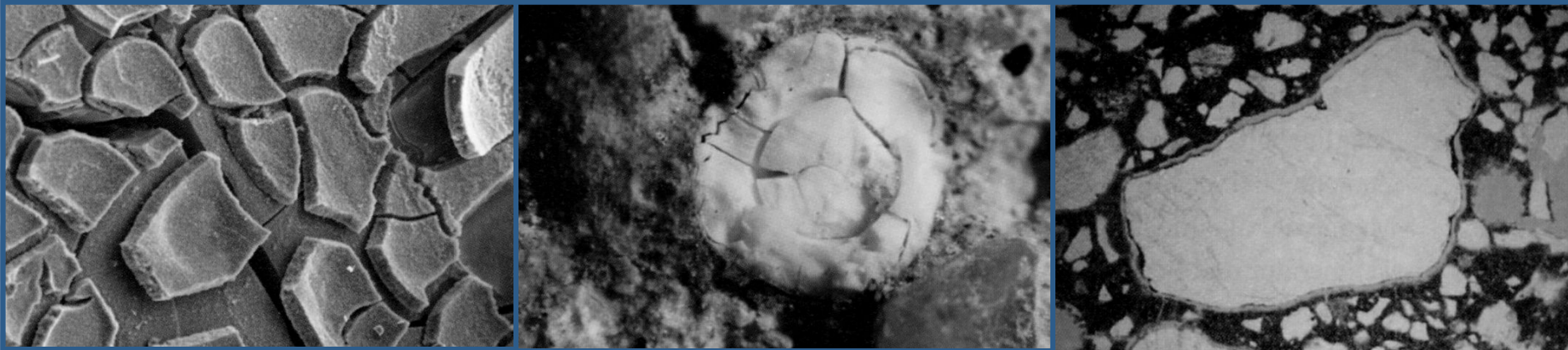
Кристаллит

Коррозия цементного камня и бетона вследствие реакций активного заполнителя со щелочами

Механизм коррозии



Высокодисперсный гидросиликатный гель при увлажнении заметно увеличивается в объеме, при высыхании – уменьшается в объеме, что приводит к разрушению контактной зоны и ослабляет структуру материала в целом

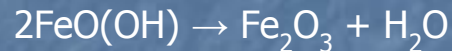


Меры борьбы:

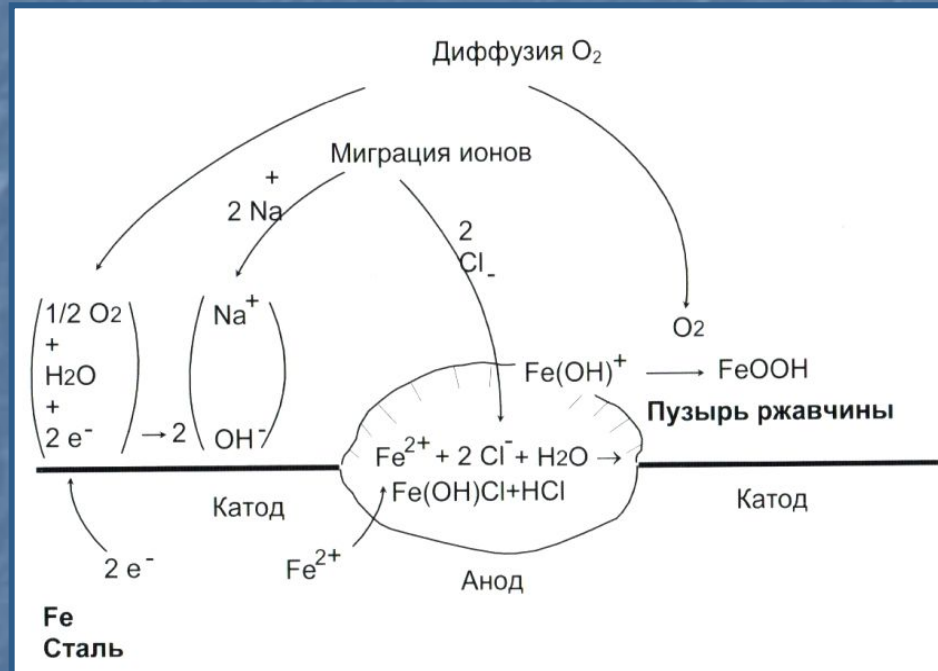
- ☐ ограничение содержания R_2O в цементе
- ☐ использование нереакционного заполнителя в бетоне
- ☐ введение в цемент высокодисперсных активных минеральных добавок

Коррозия железобетона под воздействием хлоридов

Образование защитной пленки на поверхности арматуры при высоких значениях pH среды:



Коррозия арматуры под воздействием NaCl и O₂ воздуха:



Меры борьбы:

- ☐ пассивация арматуры;
- ☐ использование оцинкованной арматуры
- ☐ снижение проницаемости цементного камня и бетона