

КОРРОЗИЯ КАМЕННЫХ И БЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Определение коррозии каменных строительных материалов



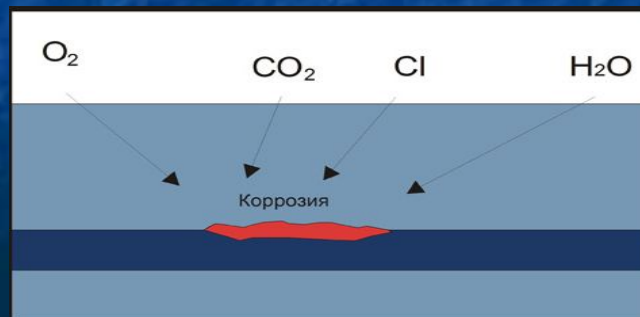
- Коррозия каменных, бетонных и других неметаллических строительных конструкций заключается в разрушении природного, искусственного (цементного или бетонного) изделия в результате действия **физических или химических факторов**.
- Каменные строительные материалы (природные или искусственные: гипсовые, известковые, глинистые, мраморные, цементные и др.) при эксплуатации подвергаются воздействию **факторов окружающей среды**. На строительные каменные изделия и конструкции воздействуют атмосферные осадки, газы и пыль, содержащиеся в воздухе, резкие перепады температуры и влажности (попеременное увлажнение и высыхание), морозы, солнечная радиация, космические и световые излучения, значительная ветровая нагрузка. Все эти факторы значительно сокращают сроки службы каменных строительных материалов, ухудшают их эстетический вид, декоративные свойства.

- Особенно интенсивно подвергаются коррозионному разрушению пористые каменные материалы, применяемые для наружных работ: пиленые известняки, ракушечник, песчаники, туф и пр.
- Естественный камень испытывает коррозионное воздействие агрессивных газов в незначительной степени (за исключением кладки из песчаника на известковом вяжущем).



Причины и факторы коррозии каменных строительных материалов и изделий

- Все причины коррозии строительных камней можно разделить на две большие группы:
- I. **Внешние** причины и факторы коррозии.
- II. **Внутренние** причины коррозии и разрушения.
- I. **К внешним** причинам относятся:
 1. **Изменения температуры** (сезонные и дневные колебания).
 2. **Процессы увлажнения и высыхания**, осадки.
 3. **Механические воздействия** (выветривание, удары волн в гидротехнических сооружениях, истирание, динамические нагрузки).
 4. **Химическое воздействие** внешней среды (газовый состав воздушной среды, водные растворы электролитов, влага, органические соединения).



К **внешним** причинам также относятся:

- **Воздействие газов и жидкостей:** газовая и жидкостная коррозия в каменных строительных материалах протекает под воздействием жидких и газообразных агрессивных сред, содержащих следующие основные катионы и анионы:
 - при газовой коррозии: CO_2 , H_2S , NH_4^+ и др.;
 - при жидкостной коррозии: Mg^{2+} ; Na^+ ; Al^{3+} ; H^+ ; Cu^{2+} ;
 Fe^{2+} ; Fe^{3+} ; OH^- ; SO_4^{2-} ; CO_3^{2-} ; HCO_3^- .
- **5. Воздействие биофактора:** биологическая коррозия (коррозия под воздействием бактерий, микроорганизмов, плесневых грибов и других биологических разрушителей).



II. *Внутренние* причины коррозии обусловлены химическим строением материала, его природой и составом.

- К ним относятся:
- 1. **Водопроницаемость** материалов строительных изделий и конструкций.
- 2. **Взаимодействие** щелочей цемента с кремнеземом заполнителя в бетонах и цементных камнях.
- 3. **Внутренние напряжения** (структурная коррозия).
- 4. **Изменения объема** из-за различия температурного расширения цемента и наполнителя.
- 5. **Коррозия за счет** наличия в составе бетонов **ПАВ**, пластифицирующих добавок и пр.



Факторы, влияющие на коррозионные процессы

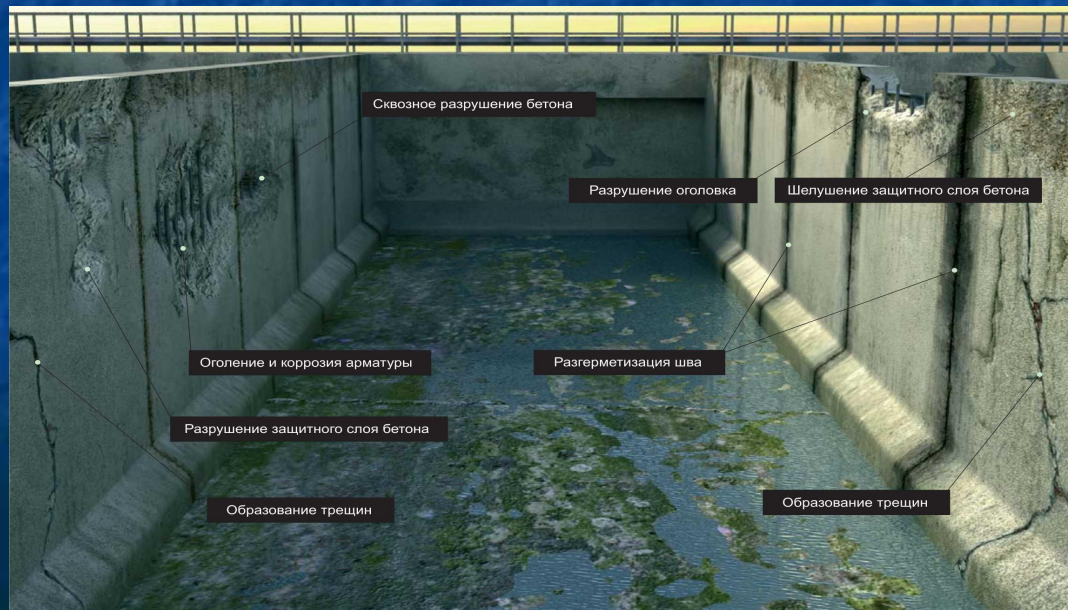
- Факторы, влияющие на коррозионные процессы, можно разделить на две группы: *физические и химические*.
- I. *Физические* факторы:
 1. Температурные колебания среды.
 2. Влажностные колебания среды.
 3. Кристаллизация солей в порах и капиллярах.
 4. Подсос агрессивной среды внутрь бетона за счет осмотического давления.
- II. К *химическим* факторам коррозии каменных и бетонных материалов относятся:
 1. Химическое воздействие агрессивных сред: водной, газообразной, органических веществ.
 2. Химическая природа составляющих бетонов.



Классификация коррозионных процессов каменных материалов

- По механизму протекания различают *физическую, химическую и биологическую* коррозию. Вид коррозионных процессов зависит от местоположения конструкции и характера среды. Так, подземные конструкции могут подвергаться всем видам коррозии, надземные – преимущественно физической, реже – химической.
- Наибольшее влияние на износ конструкций оказывает водная среда. Поскольку большинство конструкций зданий (фундаменты, стены, перегородки, перекрытия и элементы крыш) выполнены из искусственных материалов с пористо-капиллярной структурой, при контакте с водой они интенсивно увлажняются.

Аэротенки, преаэраторы, илосгустители, распределительные каналы подвержены разрушению под воздействием потоков воды, насыщенной агрессивными компонентами.



Влияние влаги на коррозионные процессы

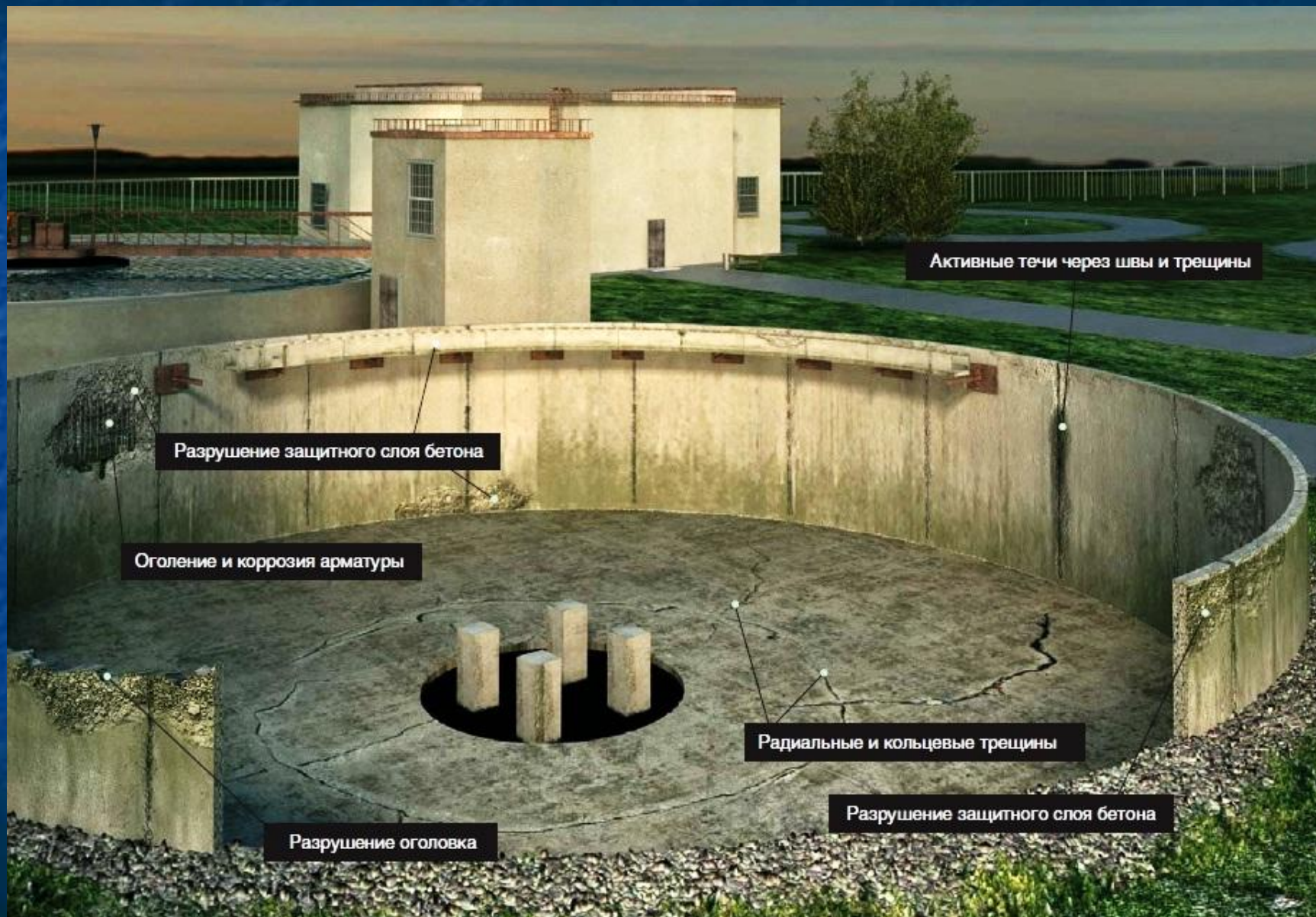
- В зависимости от вида связи с материалом различают **химически связанную, адсорбционно-связанную, капиллярную и свободную влагу**. Последняя заполняет крупные пустоты и поры материала и удерживается в них гидростатическими силами. Такая влага легко удаляется из материала конструкции при высушивании. В крупных порах и пустотах вода замерзает при температуре ниже **0°C**, так как в ней растворены вещества, понижающие температуру замерзания. Влияние влаги на процесс разрушения конструкций неодинаковое. В одних случаях она как поверхностно-активное вещество ускоряет разрушение, в других, являясь хорошим растворителем, действует в качестве химически активной агрессивной среды. Наличие на поверхности и в теле материалов пор, пустот, капилляров и микротрещин способствует увеличению площади их удельной поверхности, что повышает возможность контакта конструкции со всеми видами влаги. Смачивание материала сопровождается физическими процессами, вызывающими напряжение.



Воздействие влаги на коррозионный процесс

Капиллярный подсос растворов солей и минеральных грунтовых вод является одной из первостепенных причин накопления солей в порах материалов, что приводит при определенных условиях к образованию **трещин и отслоений**. Молекулы воды обладают дипольными моментами, поэтому они ориентируются в зоне действия силовых полей, образование которых связано с развитием микротрещин или дефектов кристаллических структур. **Дипольная ориентация воды в адсорбционном слое повышает ее плотность и вязкость**. В результате она приобретает упругость, близкую к упругости материала конструкции. По мере сужения микротрещин упругость воды повышается, в результате чего усиливается ее расклинивающее действие. Возрастание внутренних напряжений, вызванных **расклинивающим действием влаги**, приводит к значительному снижению прочности смоченного материала. Эти напряжения способствуют снижению давления жидкости в капиллярах и возникновению напряжений сжатия и изгиба в материале стенок капилляра. В условиях эксплуатации взаимодействие сил имеет более сложный характер, так как капилляры связаны между собой.

Коррозия конструкций очистных сооружений



Совместное влияние температуры и влаги

- Сильному разрушению материалов способствует **одновременное воздействие отрицательных температур и влаги**. Замерзающая в порах и капиллярах вода увеличивается в объеме, вызывая значительные напряжения в материале конструкции. При естественном увлажнении в условиях эксплуатации вода в крупных порах и капиллярах поднимается на меньшую высоту, чем в мелких. Кроме того, из крупных пор она отсасывается в смежные мелкие, так как сила капиллярного отсоса в них большая. При замерзании воды свободные крупные поры служат резервным объемом для компенсации ее расширения в мелких порах и капиллярах. В связи с этим крупнопористые материалы более морозостойки. При замораживании материала, поры которого полностью заполнены водой, могут возникнуть значительные напряжения, во много раз превосходящие прочность наиболее стойких материалов.



Влияние попеременного увлажнения и высыхания

- На долговечность конструкций, кроме упомянутых факторов, влияет также **попеременное увлажнение и высыхание материала** даже при отсутствии отрицательных температур. При высыхании влага из конструкции испаряется, сначала из крупных, а затем из более мелких пор капилляров. В абсолютно сухом воздухе свободная капиллярная и адсорбционно-связанная вода в течение некоторого времени может полностью испариться из тела конструкции. При этом на конструкцию перестают действовать расклинивающие силы и, как следствие, в материале возникают **значительные напряжения усадки**.
- С увеличением относительной влажности окружающей воздушной среды материал вновь увлажняется, трещины раскрываются. Скорость разрушения каменных конструкций под действием напряжений, усадки и набухания зависит от интенсивности увлажнения и высыхания.



Коррозия искусственных каменных материалов

- Одной из причин разрушения увлажненного каменного материала является **осмотическое давление в порах конструкций**. В различных порах и капиллярах вода образует слабые растворы неодинаковой концентрации. В материалах каменных конструкций всегда имеются расположенные рядом поры с растворами разной концентрации, разделенные стенками, проницаемыми для воды и непроницаемыми для растворенного в ней вещества. Растворы в порах стремятся выровнять концентрацию, для чего влага проходит через материал, разделяющий поры, из раствора меньшей концентрации в раствор большей концентрации. При этом, если раствор, имеющий большую концентрацию, находится в замкнутом объеме, в нем может возникнуть большое осмотическое давление.
- В воде, присутствующей в порах и капиллярах каменных конструкций, находятся в растворенном состоянии различные вещества, составляющие материал конструкции. Наличие в ней гидроксидов кальция, натрия, калия и других металлов обуславливает ее **высокую щелочность (pH =12–13)**.



Усиленный конденсат влаги образуется весной или осенью, когда температура наружного воздуха имеет знакопеременные значения.

- Интенсивность коррозии каменных конструкций зависит от структуры материала, степени и вида его увлажнения, а также от химического состава водной среды. Так, дождевая вода смывает со стен адсорбированные частицы и различные агрессивные вещества; влага – конденсат – вступает с такими веществами во взаимодействие, образуя растворы кислот и щелочей, которые способствуют разрушению материала каменных конструкций по типу химической коррозии. Разница между температурой воздуха и температурой ограждающих конструкций называется температурным гистерезисом. Контакт воздушной среды с участками конструкций, имеющими более низкую температуру по сравнению с температурой наружного воздуха, приводит к выпадению конденсата на этих участках, особенно в углах зданий.



Большие напряжения возникают в мелкопористых материалах, контактирующих с крупнопористыми, при замерзании в них влаги.

При эксплуатации зданий следует обращать внимание на состояние тех конструктивных элементов, которые выполнены из каменных, бетонных или железобетонных материалов, имеющих разную плотность. Так, в конструкциях из песчаника и известняка в месте их контакта наблюдается ускоренное разрушение песчаника. Объясняется это тем, что известняк как материал с более крупными порами быстрее впитывает и отдает влагу плотному песчанику, имеющему мелкие поры. При этом количества влаги на границе контакта этих двух материалов достаточно для того, чтобы все поры песчаника были полностью заполнены водой. Влага, поступающая из пор известняка, содержит растворенные соли, которые при ее испарении кристаллизуются и создают большие поровые напряжения. Значительно большие напряжения возникают в мелкопористых материалах, контактирующих с крупнопористыми, при замерзании в них влаги.



Причиной разрушения каменных конструкций является также устройство на наружных стенах фасадов плотных штукатурок.



Кирпичные стены содержат 0,05-0,53 % влаги (по массе). Ее перемещение в стенах происходит тем интенсивнее, чем больше перепад температур, при этом влага движется в сторону низких температур. Наличие плотной штукатурки со стороны фасада приводит к скоплению влаги между штукатурным слоем и наружной гранью кирпичной кладки. При отрицательных температурах она замерзает, возникают напряжения, разрушающие штукатурку и поверхностный слой каменной кладки. Кроме того, плотная цементная штукатурка создает значительные напряжения из-за разности линейных температурных расширений: линейные расширения кирпичной кладки примерно в два раза меньше линейных расширений цементного раствора; для кладки из шлакобетонных камней эта разница еще больше. При этом надо иметь в виду, что температура штукатурного слоя фасада всегда выше температуры слоя кладки, находящейся под штукатуркой.

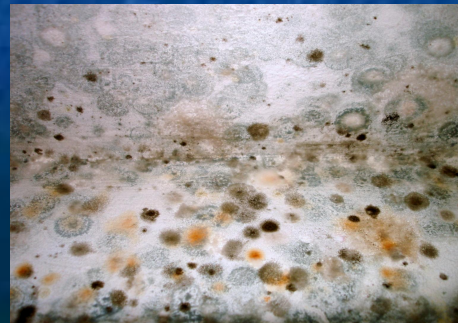
Классификация коррозионных процессов цементных растворов и бетонов

- Нет возможности перечислить все коррозионные процессы, которые могут протекать при взаимодействии внешней среды с бетоном и железобетоном. Для оценки характера коррозионного процесса и степени агрессивного действия различных веществ, содержащихся во внешней среде, на бетоны существует классификация таких воздействий по общим признакам.
- Анализ большого экспериментального материала и результатов исследований сооружений, подвергавшихся воздействию различных агрессивных сред, позволил В.М. Москвину выделить три основных вида коррозии бетона.
- **Первый вид** коррозии включает процессы, возникающие в бетоне при действии жидких сред, способных растворять компоненты цементного камня. Составные части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Особенно интенсивно эти процессы происходят при фильтрации воды через толщу бетона.
- **Второй вид** коррозии включает процессы, при которых происходят химические взаимодействия, – обменные реакции между компонентами цементного камня и агрессивной среды, образующиеся продукты реакции или легко растворимы и выносятся из структуры в результате диффузии влаги, или отлагаются в виде аморфной массы.
- **Третий вид** коррозии включает процессы, при развитии которых происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением объема твердой фазы в порах бетона. Кристаллизация этих продуктов создает внутренние напряжения, которые приводят к повреждению структуры бетона.

Кроме перечисленных видов коррозии, возникающих преимущественно при действии на бетон жидких агрессивных сред, отдельно выделяются электро- и биокоррозия.

- **Электрокоррозия** включает процессы растворения металлического анода, образование гидратных соединений железа, объем которых в несколько раз превышает объем исходного металла, и развитие в результате этого значительных давлений, вызывающих деструкцию бетона. Электрокоррозия железобетона вызывает разрушение подземных и надземных конструкций и сооружений коммунального хозяйства, железнодорожного транспорта, объектов энергетики, промышленных предприятий, потребляющих постоянный электрический ток. Результат воздействия блуждающих токов на железобетон – коррозия металлической арматуры и бетона, вызывающая образование трещин и в дальнейшем разрушение всей конструкции.
- **Биологической коррозии** могут подвергаться бетоны и строительные растворы зданий и сооружений мясной, сахарной, молочной, кондитерской и других отраслей промышленности. Бактерии, грибы и некоторые водоросли способны развиваться на конструкциях из бетона и проникать в капиллярно-пористую структуру материала. Продукты их метаболизма (органические кислоты и щелочи) разрушают, особенно в условиях высокой влажности, компоненты цементного камня.

Грибок на бетонной стене.

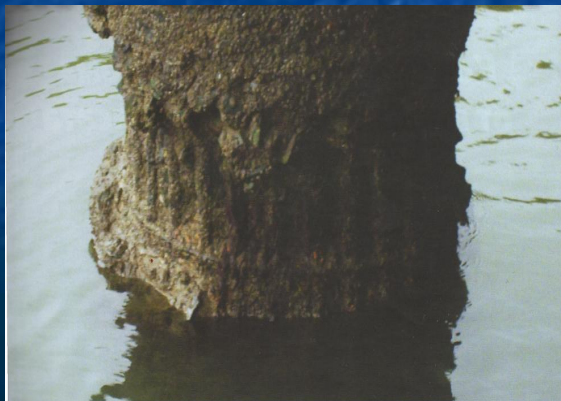


Коррозия первого вида

- К **первому виду** могут быть отнесены все процессы коррозии, которые возникают в бетоне **при действии жидких сред** (водных растворов), способных растворять компоненты цементного камня. Составные части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Если в воде содержатся соли, не реагирующие непосредственно с составными частями цементного камня, они могут повысить растворимость гидратированных минералов цементного камня вследствие повышения концентрации ионов.
- **Растворимость продуктов гидратации цемента в воде** обуславливает возможность коррозии цементного камня в бетонах и растворах за счет растворения и выноса соединений, определяющих прочность кристаллизационных контактов в цементном камне. Так как наиболее растворимым компонентом цементного камня на основе портландцемента является гидроксид кальция, то коррозионный процесс определяется обычно как процесс растворения извести. Растворимость гидросиликатов, гидроалюминатов и других соединений кальция значительно меньше. Поэтому при действии воды на цементный камень вначале растворяется и уносится водой гидроксид кальция, что сопровождается разрушением его структуры и уменьшением плотности и прочности.

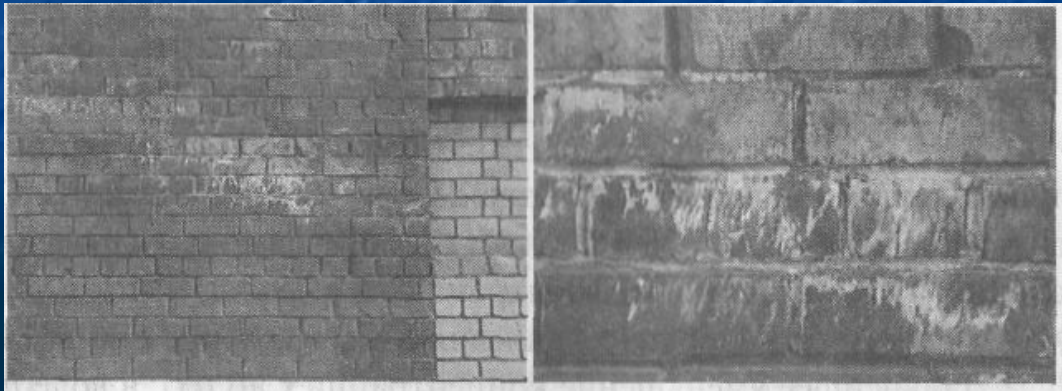
Коррозия первого вида или коррозия выщелачивания

- Примером этого вида является коррозия выщелачивания. Фильтрующиеся через конструкцию воды могут растворять находящийся в ее материале гидроксид кальция, снижая прочность материала.
- Некоторые водные растворы солей и вода с малой жесткостью способны растворять цементный камень, не вступая с ним в химическое взаимодействие. Образующиеся растворенные компоненты цементного камня (например, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) выносятся во внешнюю среду, делая его пористым и менее прочным.
- Процесс гидролиза (взаимодействия с водой) в упрощенном виде:
- $2(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$



Коррозия первого вида

- Способность бетона сопротивляться коррозии этого вида определяется **гидролитической устойчивостью минералов цементного камня**. Интенсивность процесса коррозии прямо пропорционально зависит от проницаемости (плотности) бетона и от минералогического состава цементного камня: количества свободного гидроксида кальция и содержания минералов, выделяющихся при гидролизе ионов кальция.
- Признаки коррозии первого вида можно часто наблюдать в бетоне различных сооружений. Особенно заметной она становится на участках высыхания воды, соприкасающейся с цементным камнем. В этом случае растворенные в воде соединения, и в первую очередь гидроксид кальция, карбонизируясь и выпадая в осадок в виде карбоната кальция, образуют на поверхности белый налет.



- **Коррозия первого вида** довольно широко распространена в гидротехнических и подземных сооружениях, конструкциях градирен и других бетонных элементах, подвергающихся непрерывному или попеременному воздействию пресных вод. На стойкость и последовательность разрушения цементного камня в условиях развития процессов коррозии первого вида оказывает влияние не только общее количество оксида или гидроксида кальция в цементном камне, но и минералогический состав цементного клинкера, вещественный состав цемента, а также его микроструктура.
- В цементах с ограниченным содержанием в клинкере алита (C3S) стойкость цементного камня к коррозии первого вида повышается, особенно значительно у цементного камня из белитовых клинкеров. Кроме того, стойкость бетона против коррозии первого вида повышается при использовании пуццолановых и других смешанных цементов, содержащих добавки, способные связывать гидроксид кальция.
- Повышение стойкости бетона к процессам коррозии первого вида имеет большое значение еще и потому, что оказывает заметное влияние на развитие процессов коррозии других видов. В частности, снижение стойкости бетона к выщелачиванию оказывает позитивное влияние на способность бетона сопротивляться деструктивным процессам, связанным с протеканием обменных реакций, т. е. процессам коррозии второго вида.

Коррозия второго вида

Процессы коррозионного разрушения **второго вида** связаны с химическим взаимодействием цементного камня и агрессивных компонентов.

В результате происходит образование легко растворимых продуктов, выносимых из бетона во внешнюю среду, или аморфных веществ, не обладающих вяжущими свойствами и не способных препятствовать дальнейшему развитию коррозии.

Ко второму виду коррозии относят процессы, при которых происходят **химические взаимодействия** – обменные реакции между компонентами цементного камня и раствора, в том числе обмен катионами. Образующиеся продукты реакции либо легко растворимы и выносятся из структуры в результате диффузии или фильтрационным потоком, либо отлагаются в виде аморфной массы, не обладающей вяжущими свойствами.

Особенности химического взаимодействия

- Химические свойства материалов характеризуются способностью к химическим превращениям под влиянием вещества, с которым данный материал находится в контакте. Стойкость неорганических материалов в кислых и щелочных средах характеризуется модулем основности, который определяется из выражения:
 - $M\sigma = [\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} (\text{K}_2\text{O})]/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, где CaO, MgO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Al₂O₃ – содержание оксидов металлов в составе данного материала, %.
- Если преобладает диоксид кремния (кремнезем), то материал стоек по отношению к кислотам, но взаимодействует с основными оксидами; если преобладают основные оксиды, то конструкция из данного вида материала не стойка к действию кислых агрессивных сред, но в щелочных средах не разрушается.



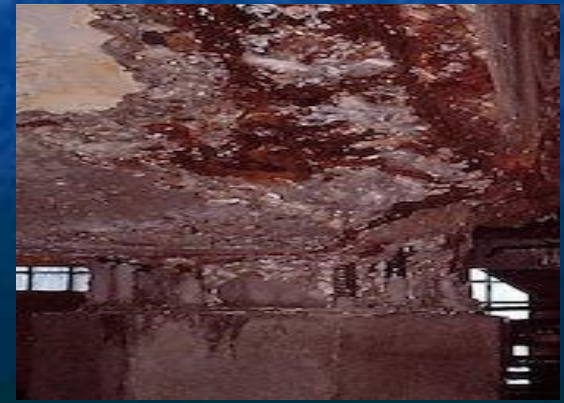
Химические свойства каменных материалов

- Минеральные материалы можно условно разделить на **три группы** в зависимости от поведения в агрессивных средах.
- К **первой группе** относятся бетон и железобетон на портландцементе и его производных, растворы для кладки и штукатурки, асбестоцементные изделия, силикатный кирпич, блоки, а также природный известняк и доломит. Эти материалы содержат гидраты или карбонаты кальция и магния, имеют модуль основности больше единицы, обладают высокой щелоче- и низкой кислотостойкостью.
- Ко **второй группе** относятся бетоны на жидком стекле с кремнефтористым натрием, а также кислые природные каменные материалы, состоящие преимущественно из кремнезема, различных солей кремниевых и поликремниевых кислот, алюмосиликатов и др. Модуль основности этих материалов меньше единицы, и они имеют высокую кислото- и низкую щелочестойкость. Плотные и прочные кислые изверженные породы (кварц, гранит, диабаз, базальт и др.) обладают высокой стойкостью не только к кислотам, но и к щелочным агрессивным средам (за счет высокой плотности материала) при нормальной температуре.
- К **третьей группе** относятся изделия из обожженной глины (кирпич, керамические плитки, трубы и т. п.), которые имеют очень высокую кислотостойкость.



Коррозия второго вида

- Такой вид коррозии включает процессы, возникающие при действии на бетон растворов кислот и некоторых солей.
- **Коррозия второго вида связана с развитием обменных реакций** между кислотами или солями окружающей среды, с одной стороны, и составными частями цементного камня – с другой. Чем интенсивнее протекает реакция взаимодействия и чем выше растворимость новообразований, тем скорее и полнее разрушается цементный камень.
- Последовательность разрушения бетона при коррозии первого вида, заключающаяся в постепенном растворении продуктов гидролиза цемента, иная при коррозии второго вида. Разрушение цементного камня идет в поверхностных слоях бетона, соприкасающихся с агрессивной средой, и процесс разрушения этих слоев может достичь полного развития при сохранении в прилегающих слоях бетона почти без изменения всех элементов цементного камня.



Углекислотная коррозия

- Одной из наиболее часто встречающихся в природных условиях коррозии бетона второго вида является коррозия при действии **углекислых вод**.
- Углекислота в большем или меньшем количестве присутствует почти во всех природных водах. Лишь при $\text{pH} > 8,5$ ее количество в воде становится незначительным и практически неощутимым. Источником появления CO_2 в природных водах являются в основном биохимические процессы, протекающие как в самой воде, так и в почвах, с которыми вода контактирует. В частности, с выделением CO_2 связаны микробиологические процессы при гниении растительных остатков, протекающие на разной глубине. Выделяется CO_2 и в результате процессов взаимодействия осадочных карбонатных пород с грунтовыми водами.

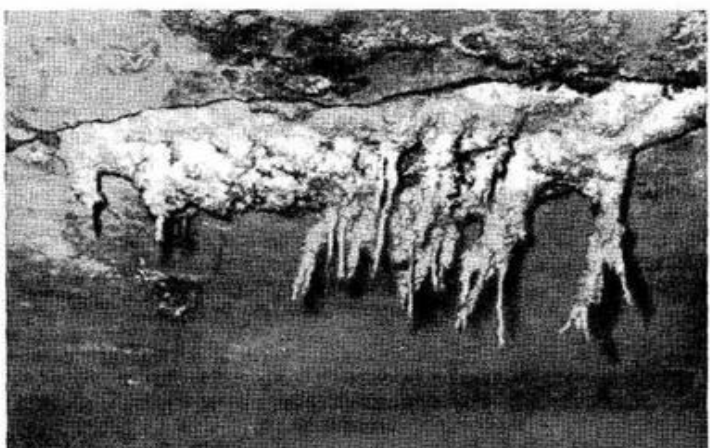


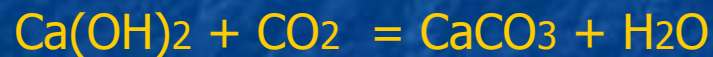
Рис. 1.3. Свисающие с перекрытия сталактиты — результат углекислой коррозии



Углекислотная коррозия

В воде, не содержащей солей, при температуре 15°C растворяется 0,59 мг/л углекислоты, что придает ей слабокислые свойства (pH = 5,7). В большинстве случаев содержание оксида углерода (IV) в природных водах значительно выше, и поэтому процесс его поглощения из атмосферы обычно не играет существенной роли. Лишь в поверхностных слоях больших водоемов, например в поверхностных слоях морской воды, количество CO₂ в летние дни бывает настолько низким (вследствие фотосинтеза и поглощения CO₂ растениями, и в частности планктоном), что поглощение углекислоты из атмосферы может иметь практическое значение. В застойных местах на побережье моря, где преобладают растительные обрастания, зафиксировано увеличение pH до 8,6, что соответствует незначительному содержанию CO₂.

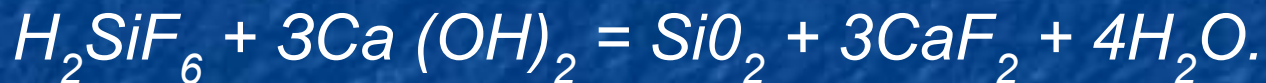
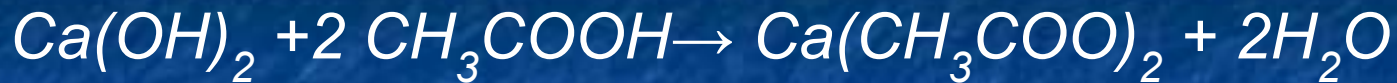
При действии воды на цементный камень вначале происходит реакция между Ca(OH)₂ цемента и углекислотой с образованием малорастворимого карбоната кальция по схеме:



Дальнейшее воздействие углекислоты на цемент приводит к образованию растворимого гидрокарбоната:

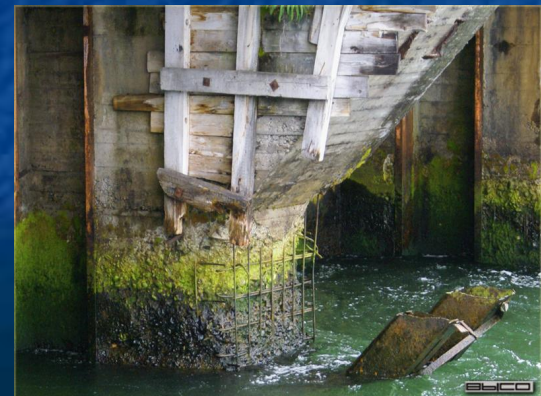


- **Кислотная коррозия** связана с взаимодействием гидроксида кальция с кислотами (реакция нейтрализации).

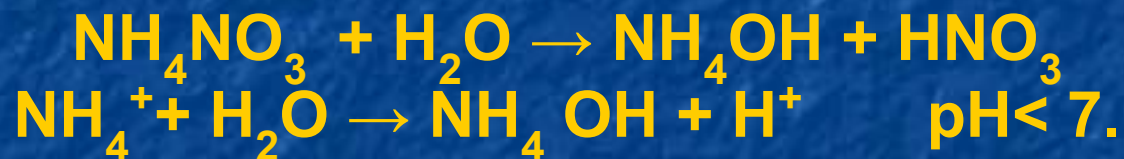


Действие органических веществ

Органические вещества природных вод в основном представлены гуминовыми, гумусовыми кислотами и их солями.



Действие солей. Для данного вида коррозии наиболее характерны обменные реакции. Скорость коррозии зависит, как от состава этих солей, так и от продуктов их взаимодействия.



Магнезиальная коррозия

К коррозии второго вида относится также магнезиальная коррозия. Соли магния, в основном сульфат и хлорид магния, часто присутствуют в грунтовых водах. Довольно большое количество магнезиальных солей (MgSO_4 и MgCl_2) содержится в морской воде. Взаимодействие солей магния с компонентами цементного камня характеризуется тем, что в результате образуется практически нерастворимый гидроксид магния:



Магнезиальная коррозия

- Обменные реакции, протекающие между гидроксидом кальция, с одной стороны, и сульфатом или хлоридом магния, с другой, могут быть записаны в общем виде следующим образом:
- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{MgSO}_4 (\text{MgCl}_2) = \text{CaSO}_4 (\text{CaCl}_2) + \text{Mg(OH)}_2$
- Гидроксид магния очень мало растворим в воде, поэтому такая реакция идет до полного израсходования Ca(OH)_2 и перехода его в ту или иную растворимую соль, вымываемую из бетона. Гидроксид магния образуется в виде бесвязной массы, **не обладающей вяжущими свойствами**. Под воздействием солей магния возможно также разложение гидросиликатов ($\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$) и гидроалюминатов кальция ($\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$). Все эти процессы сопровождаются разрушением бетона.

Кислотная коррозия

- Из числа неорганических кислот, кроме углекислоты, с действием которых на бетон приходится чаще встречаться, в первую очередь следует отметить соляную, серную и азотную, а из органических – уксусную, молочную и ряд других.
- При действии кислот цементный камень полностью разрушается, причем продукты разрушения частично растворяются, а частично остаются на месте реакции. Последовательность процесса может быть схематично выражена следующими реакциями:
 - $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (2HCl, 2HNO}_3\text{)} = \text{CaSO}_4 \text{ (CaCl}_2\text{, Ca(NO}_3\text{)}_2\text{)} + 2\text{H}_2\text{O}$
 - $n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2 + p\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} = n\text{CaSO}_4 + m\text{Si(OH)}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- Кислотная коррозия в зависимости от силы той или иной кислоты, определяемая показателями ионов водорода (pH), может протекать очень интенсивно. Под действием кислоты на цементный камень образуется кальциевая соль и аморфная бесвязная масса. Образовавшиеся продукты, растворимые в воде, выносятся кислотой из бетона, нерастворимые же в виде рыхлых масс остаются. Все это сопровождается снижением прочности бетона, а в последующем и его полным разрушением.

Щелочная коррозия

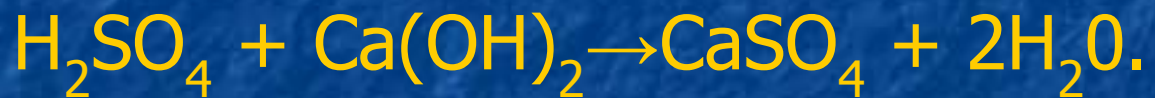
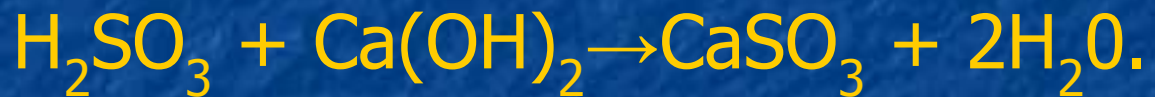
- Коррозия *второго вида* характерна при некоторых условиях для действия **щелочей**. На практике коррозия этого вида наблюдается в цехах по производству каустической и кальцинированной соды – важнейших продуктов химической промышленности, агрессивные среды которых содержат NaOH и Na₂CO₃. Рассмотрим особенности коррозионных процессов, происходящих при действии щелочей на бетон.
- При действии **растворов щелочей** на бетон деструктивные процессы в нем часто развиваются в результате интенсивной карбонизации щелочи в порах бетона за счет углекислоты окружающего воздуха. Щелочи также агрессивно действуют на алюминатную составляющую портландцемента, обуславливая образование растворимых алюминатов натрия и калия. Растворы щелочей по этой причине весьма агрессивны по отношению к бетону на глиноземистом цементе.

Щелочная коррозия бетона

При отсутствии открытой поверхности бетона **действие щелочей** вызывает в цементном камне в основном коррозию второго вида. Наличие открытой поверхности меняет вид коррозии и соответственно меняется картина разрушения бетона. На пористой открытой поверхности, к которой в результате капиллярного подсоса поступает раствор NaOH или KOH, идут два процесса: с одной стороны, карбонизация щелочи с образованием Na_2CO_3 или соответственно K_2CO_3 , с другой стороны, испарение воды. В результате в порах у поверхности накапливаются кристаллы $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ или $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$.

Действие газообразных веществ

Действие газообразных веществ на процессы коррозии бетона зависят от природы и химической активности этих веществ, например:



Сульфатная коррозия бетона

- Сульфаты встречаются в большинстве природных вод. В пресных озерах и реках содержание сульфат-ионов SO_4^{2-} в среднем составляет до 60 мг/л.
- В минерализованных грунтовых водах оно значительно выше. В морской воде при солёности 33–35 г/л количество SO_4^{2-} составляет 2500–2700 мг/л.
- Сульфаты, находящиеся в воде, соприкасающейся с цементным камнем, способны, с одной стороны, в значительной степени повысить растворимость составных частей цементного камня и этим ускорить развитие коррозии *первого вида*, с другой стороны – вызвать развитие обменных реакций с замещением катиона в сульфате на ион кальция из цементного камня, т. е. инициировать коррозию *второго вида*. Действие сульфатов может также являться причиной развития процессов коррозии *третьего вида*.

Коррозия третьего вида

Этот вид коррозии связан с накоплением и действием новообразований в порах и капиллярах бетона. При заполнении таких пространств в толще бетона может возникать внутреннее напряжение, которое приводит к разрушению.

Примером служит явление, которое называют коррозией цементного камня вследствие образования вторичного этtringита, иногда до его полного разрушения.



Коррозия третьего вида

- Третий вид коррозии включает процессы, при развитии которых в порах бетона происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением объема твердой фазы веществ, способных при фазовых переходах, полимеризации и тому подобных процессах увеличивать объем твердой фазы. К этому виду относится коррозия при воздействии сульфатов.
- Кристаллизация солей и другие вторичные процессы, развивающиеся в бетоне, создают внутренние напряжения, которые могут привести к повреждению структуры бетона. Соли либо образуются вследствие химических реакций взаимодействия агрессивной среды с составными частями цементного камня, либо приносятся извне и выделяются из раствора за счет постепенного испарения из него воды.

Таким образом, коррозия бетона подразделяется на три основных вида

- Каждому из трех видов коррозии соответствует определенная форма разрушения бетона и определенные мероприятия по его защите.
- Кроме этих видов существуют еще осмотическая и газовая коррозии бетона. Под действием сил осмоса вода проникает в бетон, вызывая осмотическую коррозию цементного камня. В порах последнего создается осмотическое давление, вызывающее в стенках пор напряжения.



Коррозия железобетонных конструкций

- Стремясь снизить затраты на строительство и ускорить затвердевание бетона, производители нередко добавляют в материал различные модификаторы и пластификаторы. Воздействие подобных добавок может существенно улучшить эксплуатационные качества цементного камня, но при этом никто не даст гарантии, что модификаторы и пластификаторы не станут причиной возникновения коррозии армирующих элементов.
- За примером далеко ходить не надо. В середине 1990-х годов по северным городам Российской Федерации прокатилась волна обвалов различных построек из армированного бетона. Причём обвалились тогда не только производственные и общественные постройки, но и жилые здания, которые были построены буквально за несколько лет до самой катастрофы.
- Оказалось, что производители армированного бетона для быстрого затвердевания материала добавляли в него разнообразные хлористые добавки. В итоге бетон быстро твердел и набирал прочность, а его армирующие элементы разъедались токсичным для металла хлором. Со временем строительная конструкция утрачивала свою надёжность и попросту разваливалась.

Коррозия железобетонных конструкций

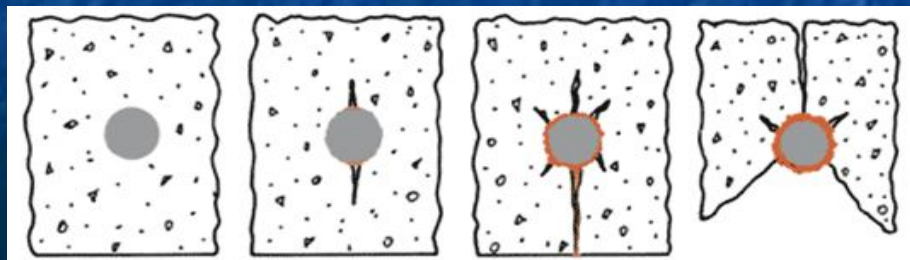
- В последние годы железобетонные конструкции широко применяют в строительной промышленности в промышленных городах, где возможно выделение самых разнообразных агрессивных газов. Многие газообразные вещества проникают через бетон почти без препятственно. При этом возможна интенсивная коррозия арматуры под плотным бетоном. Особенно интенсивно развивается коррозия в тех случаях, когда в бетоне имеются трещины, раковины доходящие до арматуры, крупные поры.
- При нормальных условиях бетон имеет щелочную среду из-за присутствия гидроксида кальция, практически не вызывающую сколь значимых коррозионных процессов. Однако диффузия в бетоны газов и солевых растворов из осадков и окружающего воздуха, выщелачивание приводят к тому, что система становится коррозионноактивной. Причем присутствие ионов хлора в бетоне может влиять на процесс коррозии по двум направлениям - изменяя оксид железа, в результате чего активизируется точечная (питтинговая) коррозия, особенно при наличии блуждающих токов, а также ускоряя карбонизацию бетона, что увеличивает кислотность среды и способствует повышению скорости коррозии.

Строительная арматура производится из стали, а этот материал неустойчив к коррозии.

Если при армировании бетона использовалась арматура А3, уже подвергнувшаяся разрушительному действию коррозии, он окрашивается. В железобетонных изделиях, при образовании внутри бетона кристаллов, происходит его разрушение, появляются трещины, через которые может проникнуть влага. В этом случае сталь, ранее находившаяся под защитой бетона, попадет в агрессивную кислую среду. После окисления стали, на ней образуется ржавчина, увеличивающая объем арматуры и приводящая в конечном итоге к разлому бетона за счет повысившегося давления.

Коррозию металла могут вызвать соли – усиливая разрушение бетона, хлориды кальция, например, ускоряют коррозию стальной арматуры в изделии или конструкции. Коррозия снижает показатели прочности стали, ее надежности, выявленные в ходе испытаний стали при производстве арматуры.

- И так, продукты коррозии железа, образующиеся на поверхности арматуры, имеют гораздо больший объем, чем сам прореагировавший металл. Это увеличение объема около арматурных стержней вызывает значительные по величине растягивающие напряжения в самом бетоне. Образующиеся микро и макротрещины облегчают доступ влаге к арматурным стержням, что ускоряет процесс и увеличивает внутренние напряжения по экспоненте. Когда внутренние растягивающие напряжения превышают предел прочности бетона – происходит разрушение. В случае предварительно напряженной арматуры ее растрескивание может произойти значительно раньше, чем на наружной поверхности панели или перекрытия появятся сквозные трещины и сколы. И в этой ситуации целостность плиты будет определяться только ее весом, нагрузкой и пределом прочности бетона.



- Очень быстро развивается коррозия в тех случаях, когда в бетоне имеются трещины, раковины достигающие до арматуры, крупные поры.
- Углекислый газ и другие агрессивные к стали газы, проникая через неплотности бетона, депассивируют поверхность арматуры. При раскрытии трещин нарушается сцепление между бетоном и арматурой и поступление кислорода к поверхности арматуры через трещины значительно увеличивается.
- Коррозия арматуры представляет собой процесс постепенного разрушения ее поверхности (ржавления) в результате химического и электролитического действия окружающей среды, когда имеет место переход ионов металла в указанную среду (анодная реакция), условия обратного перехода отсутствуют.



- Развитие процесса коррозии арматуры в бетоне сопровождается образованием продуктов коррозии, занимающих в среднем в 2-2,5 раза больший объем по сравнению с объемом прокорродированного металла. Поэтому в процессе коррозии возникает значительное радиальное давление на окружающий бетон, вызывающее образование трещин вдоль арматурных стержней и откалывание защитного слоя.
- При пористом бетоне и тонкой арматуре трещин может и не быть так как продукты коррозии распределяются в крупных порах бетона и развиваемого давления оказывается недостаточно для разрушения защитного слоя.
- В предварительно напряженных конструкциях могут возникнуть более опасные случаи коррозии, так как арматура их подвергается действию высоких напряжений. В первую очередь это относится к случаям, когда напряжения в арматуре находятся на уровне предела текучести и выше, что связано с разрушением естественных защитных окисных пленок. Кроме того, в предварительно напряженных конструкциях применяют, как правило, арматуру малых диаметров и поражение коррозией арматурной проволоки или стержней на небольшую глубину от поверхности вызывает значительное ослабление сечения. Правда, это не значит, что коррозия относительно толстой предварительно напряженной арматуры менее опасна, чем тонкой, так как достижение высокой прочности такой арматуры сопровождается, как правило, появлением склонности к носящему межкристаллический характер коррозионному растрескиванию.

Коррозионная стойкость арматурных сталей

- Существенное влияние на коррозионную стойкость арматурных сталей оказывает их химический состав. В частности, на коррозию углеродистых сталей содержание **углерода** в щелочной среде (коррозия проходит с участием растворенного кислорода) заметно **не влияет**. Наличие **марганца** также практически **не отражается** на стойкости арматурных сталей.
- **Кремний** в **небольших количествах** несколько **повышает** стойкость стали в солевых растворах, а **при увеличении** его содержания **до 1%** - **ускоряет** коррозию.
- **Хром** **повышает** стойкость стали **пропорционально** его **содержанию**. В целом, как показывают исследования, **низколегированные** стали **обладают** **большой** **коррозионной** **стойкостью**, чем **углеродистые**.
- **Повышение температуры и влажности** окружающей среды во всех случаях **ускоряет** процесс коррозии арматуры.

Коррозионные свойства арматурных сталей

- Влияние коррозионных поражений поверхности металла на механические свойства аналогично действию концентраторов напряжений, которые локализуют пластические деформации в небольшом объеме металла. У **мягких** сталей около этих очагов поражений происходит **перераспределение напряжений**, поэтому их чувствительность к коррозионным поражениям заметно **меньше**, чем высокопрочных, обладающих малой пластичностью (длительно сохраняющих концентрацию напряжений в пораженных местах) и имеющих значительное число дефектов структуры.



- Оцинкованная стальная арматура выдерживает воздействие концентраций хлорид-ионов в несколько раз выше (от 4 до 5 раз), чем арматура из обычного черного проката. Причем защита цинкового покрытия, по сути двухуровневая при горячем оцинковании или термодиффузионном покрытии цинка. Основной протекторный барьер составляют слои интерметаллидов, а наружная защита обеспечивается пассивированным слоем чистого цинка. Однако здесь нужно понимать, что самопассивация цинка в бетонной среде занимает определенное время и поэтому бетонные армированные конструкции лучше выдерживать в помещениях складов с нормальной или слабощелочной средой перед монтажом для завершения пассивации.



- Для предотвращения коррозии металла, изделия из железобетона необходимо правильно транспортировать, не допуская образования трещин и глубоких сколов, применять существующие методы установки арматуры в бетон, хранить в закрытых помещениях или под навесом, не допуская контакта с грунтом.





**Спасибо
за внимание!**