

Эффективные для разупрочнения размеры неоднородности поля напряжений заряда с промежутками измеряются $(1, 2)l_n$. Через несколько мс (5-6 мс) с момента инициирования амплитуды волн в полости взрыва уменьшаются настолько, что разупрочнение породы уже незначительно. Для увеличения времени разупрочнения инертные промежутки необходимо располагать в шахматном порядке. То есть, промежуток в скважине должен располагаться на уровне ВВ в соседних скважинах. При этом порода будет вытесняться (течь) в сторону промежутков. Во встречных «потоках» будет происходить эффективное разупрочнение породы до начала выброса ее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курінний В.П. Фізичні аспекти руйнування гірських порід вибухом / В.П. Курінний. - Дніпропетровськ: НГУ, 2009. - 158 с.

УДК 693.54:620.193.4

П.А. Донченко к.т.н., проф.,
Л.О. Куцевол асп.,
(ЧДТУ)

СТІЙКІСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ В АГРЕСИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Эта статья посвящена характеристике проблемы стойкости цементного камня в агрессивной среде. Проведен анализ коррозионных процессов, которые происходят в цементных бетонах под действием водной среды. Отмечены основные последствия возникновения коррозии и методы защиты от неё.

STABILITY OF CEMENT STONE IN AGGRESSIVE DELIRIUM

This article is devoted to the characteristic of the problem of firmness of a cement stone in an excited environment. The analysis of the corrosive processes which occur in cement concrete under the influence of the water environment is carried out. We will point out the basic consequences of the origin of corrosion and methods of protection against it.

В умовах експлуатації на цементний камінь і бетони можуть діяти води, що містять різні солі, зокрема морські і ґрунтові, води різних хімічних підприємств. Залежно від природи речовини, що містяться у водах, вплив їх на довговічність бетону різний.

З руйнуючою дією морської води на цементний бетон дослідники і будівельники-практики вперше зіткнулись у 70-80-х рр. минулого століття. В цей час розпочато дослідження стійкості бетону у різних середовищах. Значний вклад в вирішенні сучасних проблем стійкості бетону внесли відомі вчені такі як: А.Р. Шуляченко, В.І.Чорноморський, М.А.Белелюбський, О.О. Байковий, С.І. Дружинін, В.А. Кінд, В.М. Юнг, В.В. Кінд [1-6], а проблемі корозії бетону значної уваги приділено в роботах В.М. Москвіна, В.І. Бабушкіна та ін. [4, 6].

Задачі роботи:

- проаналізувати основні процеси, що відбуваються в бетоні під дією водного середовища;
- дослідити фактори, що впливають на виникнення корозійних процесів в бетоні під впливом водного середовища і дати їх детальну характеристику;
- описати наслідки корозії для бетону і види його захисту від того чи іншого виду корозії.

Згідно роботи [4] автором виділені три основні групи корозійних процесів, що виникають у цементних бетонах під дією водного середовища, а саме:

I група – корозія внаслідок розчинення компонентів цементного каменю під дією вод з малою тимчасовою жорсткістю;

II група – корозія під дією вод, що містять речовини, які взаємодіють з компонентами цементного каменю з утворенням легкорозчинних сполук, що вимиваються водою, або аморфних мас;

III група – корозія, при якій у порах і капілярах цементного каменю за рахунок обмінної реакції з його компонентами кристалізуються певні речовини, що викликають внутрішні напруги і руйнування.

Далі ми розглянемо і дамо характеристику впливу водного середовища на міцність цементного каменю. Так, під дією м'якого водного середовища [1] відбувається **корозія I групи**. Відомо, що одним із продуктів гідратації портландцементу є $\text{Ca}(\text{OH})_2$, розчинність якого досягає 1,3 г/л вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у цементному камені становить залежно від тривалості твердіння 10-18 % (у перерахунку на CaO). Внаслідок вилужування вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у бетоні знижується і, якщо його концентрація зменшується нижче певних величин, починають розкладатися й інші гідратні сполуки. Так, при вмісті CaO менше 1,1 г/л розпочинається розкладання високо основних гідросилікатів кальцію. При концентрації CaO нижчій за 1,08 г/л гідролізується $4\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$. При подальшому зниженні концентрації CaO до 0,56 г/л розпочинається гідроліз при $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і перехід його в C_2AlH_8 , який у свою чергу, гідролізується лише при вмісті CaO в розчині, нижчому за 0,06-0,08 г/л.

На практиці міцність бетону знижується вже при вимиванні тільки частини $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Встановлено [4], що вилуження 15-30 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (від загального його вмісту в цементі) призводить до втрати 40-50 % міцності.

Корозія вилужування відбувається особливо інтенсивно, коли вода в бетоні фільтрується під певним напором. При цьому на поверхні бетону з'являється білий наліт, що називається «білою смертю» бетону.

У м'яких водах, за складом близьких до дистильованої, корозія посилюється. Якщо ж у воді містяться гідрокарбонати кальцію і магнію, то розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ зменшується. Тому за будівельними нормами [1] встановлені наступні показники ступеня агресивності води:

- вміст в середовищі гідрокарбонатів;
- щільність бетонів;
- умов експлуатації споруд (фільтрувальність ґрунтів, напір води).

Так, наприклад, для бетонів, що мають марку за водонепроникністю В-4 за

умов сильно фільтруючого ґрунту, агресивною буде вода вже при гідрокарбонатній лужності в межах 1,4-0,7 мг-екв/л. Збільшення гідрокарбонатної лужності і підвищення щільності бетону зменшують небезпеку корозії, а поверхнева карбонізація при зменшенні вилуджування NaCl і Na₂SO₄ підвищують розчинність Ca(OH)₂, що посилює агресивність води.

Що б надати стійкості проти вилуження в прісних водах, у цемент вводять гідравлічні добавки, які, реагуючи з Ca(OH)₂, утворюють малорозчинний CSH(V).

Кислотна корозія. Відходи промислових вод, що багаті на мінеральні й органічні кислоти, викликають кислотну корозію бетону. Залежно від концентрації кислоти і рН середовища вона може відбуватися більш або менш інтенсивно. Насамперед руйнуються поверхневі карбонізовані шари бетону. При взаємодії кислот утворюються їх кальцієві солі та аморфні маси: SiO₂*nH₂O Al(OH)₃, Fe(OH)₃. У сильно кислотному середовищі можуть утворюватись солі амонію та заліза. Розчинні продукти видаляються з водою, міцність зменшується і настає повне руйнування.

Кислотна корозія відбувається і в силосних ямах, де під час бродіння силосу утворюються оцтова, молочна та інші кислоти. Бетон нормальної щільності починає руйнуватися вже при рН ≤ 6,5, а особливо щільний – при рН ≤ 4,9...4.

Руйнування спостерігається не тільки під дією кислот, а й під дією кислих солей, а також солей сильних кислот і слабких основ, які гідролізуються з виділенням кислот.

Оскільки оберігти бетон від кислотної корозії практично неможливо, споруди, що піддаються цій агресії, будують на спеціальних кислотостійких цементах.

Вуглекисла корозія. Відомо, що розчин CO₂ у воді є кислотою, дія його на бетон відрізняється від звичайної кислотної корозії. У перший період дії на бетон води, що містить CO₂, Ca(OH)₂ взаємодіє з CO₂ з утворенням нерозчинного CaCO₃, який, відкладаючись у порах цементного каменю, ущільнює бетон. Далі на CaCO₃ діють нові порції CO₂ й утворюється гідрокарбонат, який вимивається водою:



Тому при тривалому фільтруванні води, що містить CO₂, через масивний бетон останній руйнується пошарово. В той час коли у глибинних шарах відбувається ущільнення, у зовнішньому шарі розпочинається руйнування. Однак не весь CO₂, що міститься у воді, є агресивним. У воді завжди є певна кількість гідрокарбонатів кальцію або магнію, для утримання яких необхідна певна кількість CO₂, яка є рівноважною і не чинить руйнівної дії CO₂, що міститься понад цю кількість, реагує з CaCO₃, викликаючи вилужування вапна. Частина CO₂, що прореагувала, являється агресивною. То для стабілізації Ca(HCO₃)₂, що утворився, необхідно вміст рівноважного CO₂. Чим більша

тимчасова жорсткість води, тим більше рівноважного CO_2 може міститись у розчині і тим менше агресивного.

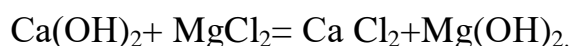
Вміст у розчині вільного CO_2 , потрібного для стабілізації гідрокарбонату кальцію, збільшується при наявності інших солей кальцію і зменшується при наявності солей натрію. Кількість агресивного CO_2 визначається за спеціальними графіками або експериментально. Як правило, агресивний CO_2 міститься тільки в чистих водах і його дія збільшується пропорційно квадрату концентрації агресивного CO_2 .

Для усунення вуглекислої корозії навколо бетонної конструкції влаштовують засипки з карбонатних порід, що сприяють зменшенню агресивності води під час її фільтрування крізь ці матеріали.

Магнезіальна корозія. У морській воді крім NaCl міститься багато інших солей. Так, у водах Світового океану містяться наступні солі в середньому співвідношенні г/л:

– NaCl – 27,2; MgCl_2 – 3,8; MgSO_4 – 1,7; CaSO_4 – 1,2. Солі магнію є також у ґрунтових водах, зокрема на території Середньої Азії та Казахстану.

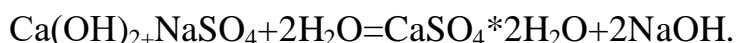
Дія солей магнію на бетон залежить не тільки від катіонів, але й від аніонів. Якщо у воді розчинена яка-небудь сіль магнію крім сульфату, то настає магнезіальна корозія. При цьому сіль магнію вступає у взаємодію з $\text{Ca}(\text{OH})_2$, внаслідок чого утворюється розчинна сіль кальцію, що вимивається водою, і погано розчинний $\text{Mg}(\text{OH})_2$, який відкладається у вигляді крихкої маси:



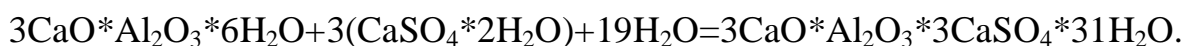
Розчини солей магнію вважаються агресивними, якщо в них міститься понад 500 г/л іонів Mg^{2+} .

За експериментальними даними під впливом хлориду магнію ні зовнішній вигляд, ні маса бетону відчутно не змінюється. Основний прояв впливу агресивного середовища – зниження міцності бетону [6].

Сульфатна корозія відбувається у цементному камені під дією іонів SO_4^{2-} , зв'язаних із такими іонами, як Na^+ і Ca^{2+} . Різновидами сульфатної корозії є сульфатно - алюмінатна і гіпсова. Сульфатно-алюмінатна корозія виникає у водах, що містять понад 250 мг/л іонів SO_4^{2-} . При цьому $\text{Ca}(\text{OH})_2$ взаємодіє з SO_4^{2-} з утворенням гіпсу:



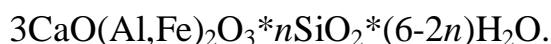
Гіпс, у свою чергу, вступає у взаємодію з високо основними алюмінатами кальцію:



Внаслідок утворення малорозчинного етtringіту з C_3AH_6 початковий об'єм збільшується приблизно в 4,76 рази, з'являються внутрішні напруги,

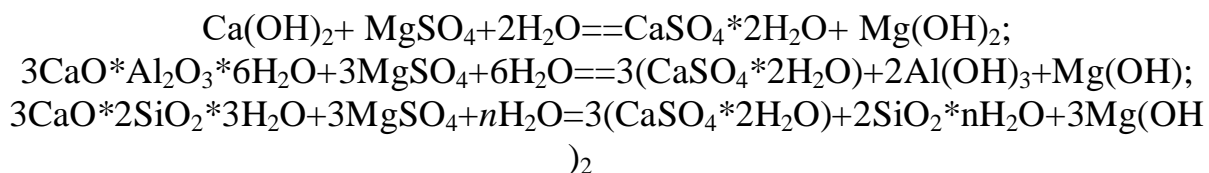
що викликає появу тріщин і руйнувань. Етtringіт утворюється тільки при концентрації $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що перевищує 0,46 г/л (у перерахунку на CaO), тобто коли алюмінати існують у вигляді чотири- і три кальцієвого алюмінату. Якщо ж концентрація $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у розчині незначна, що спостерігається при введенні гідравлічних добавок, то етtringіт не утворюється, тому пуцолановий портландцемент є стійкішим у сульфатних водах, ніж звичайний портландцемент. Бетони на пуцолановому цементі не руйнуються у вода з концентрацією солей Na_2SO_4 , CaSO_4 або MgSO_4 до 0,5 %.

При вмісті у воді понад 1000 мг/л іонів SO_4^{2-} відбувається переважно гіпсова корозія внаслідок відкладання гіпсу в капілярах цементного каменю. Сульфати лужних металів не руйнують помітною мірою гідросилікати кальцію. Сульфатостійкість різко зростає при автоклавній обробці виробів з бетону, оскільки при цьому утворюються малорозчинні гідросилікати $\text{CSH}(\text{B})$ і сульфатостійкі гідро гранати:



Ефективним заходом щодо усунення сульфатно-алюмінатної і гіпсової корозії є напрямлена зміна мінералогічного складу цементу, зниження вмісту C_3S та C_3A при помірному вмісті C_4AF . Якщо бетони не піддаються попере-мінному заморожуванню і розморожуванню, краще застосовувати пуцоланові і шлакові цементи.

Магnezіально-сульфатна корозія. Найсильніше діють на цемент сульфати магнію, що викликають магnezіально-сульфатну корозію. На відміну від сульфатів натрію вони реагують не тільки з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і гідро алюмінатами, а й з гідросилікатами. Причиною останньої реакції є дуже низька розчинність $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а отже, і нижче, ніж у $\text{Ca}(\text{OH})_2$, значення рН (10,5). При такому рН гідро алюмінати і гідросилікати починають розкладатись з утворенням $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який вступає у взаємодію з MgSO_4 . Знову утворюється $\text{Mg}(\text{OH})_2$ і відбувається подальше розчинення гідросилікатів. Реакції між MgSO_4 і гідратованими сполуками схематично (за В.М. Юнгом) можна подати так:



Магnezіально-сульфатна корозія значно сильніша за чисто сульфатну або чисто магnezіальну, тому при наявності одночасно іонів Mg^{2+} і SO_4^{2-} їх гранично допустимі концентрації знижуються.

Крім сульфату магнію аналогічно агресивну дію чинять і сульфати таких металів, як Al , Zn . Ще сильнішу руйнує бетон сульфат амонію. Це пов'язано з тим, що $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$, відкладаючись у порах цементного каменю, закупорюють капіляри і сповільнюють подальше проникнення агresi-

вних розчинів. NH_4OH добре розчиняється у воді, хоча й слабо дисоціює, тому він сам вимивається, але різко знижує рН. Так, якщо бетони на сульфатно-шлаковому цементі досить стійкі проти дії 2 %-х розчинів MgSO_4 , то їх руйнування відбувається вже під дією 0,5 %-го розчину $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Зміна мінералогічного складу цементу мало впливає на стійкість бетонів у магнезіальних і сульфатно-магнезіальних водах.

Дія на цементний камінь інших речовин. Такі солі, як NaCl , як KCl , CaCl_2 , істотно не впливають на цементний камінь за нормальних умов твердіння, але CaCl_2 при високій концентрації агресивний. Руйнування відбувається й при одночасній дії на цементний камінь розчинів цих солей і морозу. Крім того, хлориди, проникаючи в залізобетонні вироби, викликають корозію арматури.

Нафта, мінеральні масла, нафтові дистиляти не впливають агресивно на затверділий бетон, але можуть негативно впливати на тверднення тільки що підготовленого і укладеного бетону. Однак зберігати нафтопродукти, особливо легкі їх фракції, у бетонних і залізобетонних ємностях важко, оскільки вони можуть проникати крізь бетон. Агресивно впливати можуть продукти перегонки кам'яновугільних смол, що містять феноли, крезолі та інші сполуки.

Органічні високомолекулярні кислоти і кислоти жирного ряду чинять сильну агресивну дію, яка зростає із збільшенням їх молекулярної маси. Рослинні і тваринні жири також руйнують цементний камінь. При стиканні жирів з бетоном $\text{Ca}(\text{OH})_2$ обмилює жири, утворюючи кальцієву сіль жирної кислоти та багатоатомний спирт. Останній, у свою чергу, взаємодіє з вапном. Якщо в жирах є вільні кислоти, то з'являються кальцієві солі цих кислот. Ступінь руйнування залежить від в'язкості жирів і збільшується при їх окисненні.

Розчини гліцерину також руйнують бетон. Особливо агресивними відносно цементного бетону є розчини цукру. Під дією гліцерину або цукру утворюються відповідно гліцерати або сахарати кальцію, що добре розчиняються у воді.

Деякі добрива, зокрема амонійна селітра та комплексні добрива, що містять її, руйнують портландцементний камінь при концентрації 0,5%. Стійкішим проти всіх цих агресивних речовин є глиноземистий цемент.

Стійкість цементу в тому або іншому середовищі визначають дослідження на міцність зразків із розчину, що зберігаються певний час в агресивному середовищі. При сульфатній корозії показовим є також розширення зразків.

Цемент оцінюють за коефіцієнтом стійкості K_{C_6} , що є відношенням міцності зразків, що зберігалися в агресивному розчині, до міцності зразків – близнюків, що зберігалися у водопровідній воді протягом шести місяців. Якщо бетон перебуває у воді або сильно фільтрувальному ґрунті, то K_{C_6} повинен бути $>0,9$. Якщо бетон оточений слабо фільтрувальним ґрунтом, то K_{C_6} повинен $>0,8$.

При визначенні агресивності води – середовища враховується не тільки наявність у ній тих або інших домішок, а й швидкість фільтрування, товщина конструкції та інші умови експлуатації (поперемінне висушування і зволоження).

вання, циклічне заморожування тощо). До заходів щодо захисту від корозії крім вибору цементу відповідного мінералогічного складу належать добування і застосування щільних бетонів, нанесення захисних покриттів.

Корозія, викликана лугами цементів. Протягом тривалого часу вивчалася дія різних агресивних середовищ на портландцементний камінь і бетон. Однак у 40-х роках минулого століття було виявлено особливий вид корозії бетону – в неагресивному середовищі.

Таким чином, виконані дослідження по аналізу дії водного середовища на стійкість бетонного каменю, а також фактори які впливають на виникнення корозійних процесів при будівництві і експлуатації бетонних споруд дозволять розробити ефективні способи і заходи по захисту їх та зменшенню і усуненню різних типів корозії в них.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Защита строительных конструкций от коррозии: СНиП 2.03.11-85. – М.: Стройиздат, 1985. – 45с.
2. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник: В 2 т. Т. 2 / Под ред. А. А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987.– 784с.
3. Защита строительных конструкций и технологического оборудования от коррозии: Справочник строителя. – М.: Стройиздат, 1981. – 255с.
4. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / Москвин В. М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Газеев Е. А. – М.:Стройиздат, 1980. – 535с.
5. Пашенко О.О. В'яжучі матеріали /Пашенко О.О., Сербін В.П., Старчевська О.О. – К.: Вища школа, 1975. – 424с.
6. Черниговский В.А. Совершенствование технологии изготовления бетонных свай в несвязных и химически активных грунтах / В.А. Черниговский, О. Хаддад, Х. До Чонг, В.И. Бабушкин // Труды Международной конференции «Развитие технической химии в Украине». – Харьков: ХДАЗТ.– 1997. – С. 40-55.