

ВИТРИВАЛІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ СІРКИ ПРИ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Описано методику і результати експериментальних досліджень витривалості бетонів при циклічних навантаженнях. Показано вплив вологого стану, складів і структури на витривалість бетонів на основі сірки та цементних бетонів, які принципово відрізняються за технологією виготовлення.

The method and results of experimental research of endurance concrete under the cyclic loads are described. The influence of wet condition composition and structure for endurance concrete based on sulfur and cement concrete, which fundamentally different by manufacturing technology are showed.

Циклічні і багаторазово повторювані дії зовнішніх навантажень, а також періодичні цикли зволоження-висихання, нагрівання-охолодження зовнішнього середовища сприяють накопиченню в бетонних і залізобетонних конструкціях внутрішніх напружень і, накладаючись з напруженнями від усадки, що не проявились, викликають в структурі бетону мікроруйнування, які поступово призводять до появи тріщин і передчасного руйнування конструкцій.

Дослідження показують, що статичні напруження, величина яких складає понад 80% від відповідної короткочасної границі міцності бетону, з якого виготовлена та чи інша конструкція, як правило, викликають її руйнування.

Статична границя втомної міцності при циклічному навантаженні є ще нижчою і становить близько 50% короткочасної міцності бетону. Зниження міцності під впливом зовнішніх навантажень та середовища є наслідком накопичення і розвитку в часі мікро- та макротріщин і відповідної релаксації напружень в матеріалі [1]. Зниження міцності бетону залежить від багатьох факторів, з яких його вид, структура та стан вологості є визначальними.

При висиханні водонасиченого бетону виникає градієнт вологості у перерізі елемента, що обумовлює появу внутрішніх напружень внаслідок капілярної усадки, яка не проявилась, так і різної деформативності поверхневих

та внутрішніх зон. В поверхневому шарі бетону виникають напруження розтягу, величина яких досягає 30% від границі міцності на розтяг при згині f_{ctm} . В міру висихання міцність бетону поступово зменшується до деякого мінімального значення при найбільшому градієнті вологості, а потім зростає. Відношення мінімальної границі міцності при висиханні до границі міцності у водонасиченому стані (коефіцієнт тріщиностійкості по Шейкіну) відображає вплив внутрішніх напружень при зволоженні на властивості міцності бетону і знаходиться в межах 0,7–1,0 залежно від характеру пористості бетону, виду в'язучого та складових модифікуючих добавок.

Встановлено, що вологість суттєво впливає на механічні властивості бетонів, особливо на їх витривалість. Це пояснюється тим, що молекули води, які знаходяться в капілярах, швидко дифундують у мікротріщини, що виникають від втоми, і прискорюють їх проростання. Втомна тріщина в водонасиченому шарі є концентратором напружень, які сприяють руйнуванню зразка. Ще більше впливає на витривалість почергове зволоження і висихання бетону. При багаторазовому повторюванні цих процесів та накладанні температурних деформацій відбувається часткове руйнування структури бетону, особливо крупнозернистих, внаслідок чого знижується статична і втомна міцність.

Виявлено [2, 3], що процес утворення мікротріщин в сірчаних бетонах суттєво відрізняється від аналогічного процесу в цементних. Це пов'язано з відмінностями їх структури, характером і величиною власних напружень в матеріалі. Відсутність в сірчаних мастиках і бетонах капілярнопористої структури, хімічних процесів, які зв'язані з гідратацією цементу, хімічно зв'язаною і вільної вологи накладає свої особливості на механізми їх руйнування.

Мета нашого дослідження - вивчити вплив вологого стану, складів і структури на витривалість цементних і сірчаних бетонів, які принципово відрізняються технологією виготовлення.

Дослідження проводили на зразках розміром 4x4x16см, які були виготовлені методом віброущільнення. Зразки з сірчаного бетону готували за гарячою технологією. При цьому сірку плавили при 150° С і змішували з висушеними і нагрітими до цієї температури мінеральними наповнювачами і заповнювачами. Зразки поміщали в металеві форми, що були нагріті до температури сірчаного розплаву.

Зразки з цементного бетону витримували в нормальних умовах твердіння протягом 28 діб, а потім протягом 6 місяців - в повітряно-сухих умовах лабораторії. Зразки на сірчаному в'язучому після виготовлення тверднули на повітрі і зберігалися в повітряно-сухих умовах.

Вихідними матеріалами для виготовлення бетонів служили: в'язучі - портландцемент з активністю 48 МПа, технічна сірка сорту 9920 і сірка, модифікована 5% дициклопентадієну (ДЦПД), мелена вапнякова сірчана руда, що містить в середньому 28% елементарної сірки; наповнювачами для сірчаної мастики і бетону були мелена кварцова і вапнякова мука (питома поверхня 3000 см²/г), а також мінеральна складова, що входить до складу сірчаної руди; дрібними заповнювачами - кварцовий дрібнозернистий пісок (модуль крупності 1,38) і вапняковий пісок; крупними заповнювачами - гранітні висівки фракції 3-8 мм, отримані після дроблення гранітного щебеню, і гранітний щебінь фракції 5-10 мм.

Дослідження на витривалість проводили на спеціально розробленій установці вібраційної дії. При дослідженні використовували відносну границю втомної міцності, що є відношенням максимального напруження в циклі до границі статичної міцності бетону. Зразки випробовували на розтяг при згині при частоті 50 Гц, характеристиці циклу напружень 0,5 і числі повторення навантаження 2×10^6 циклів. Методика визначення границі втомної міцності приведена раніше [3].

На першому етапі аналізували поведінку зразків при багаторазово повторному навантаженні в повітряно-сухому стані. Відносна границя

витривалості при згині зразків на цементному в'язучому склала 0,45-0,60, на сірчаному 0,28-0,36. Зниження відносної витривалості зразків на сірчаному в'язучому в порівнянні з цементним можна пояснити тим, що в структурі є багато локальних неоднорідностей, які інтенсивно проявляються при багаторазово повторному навантаженні, провокуючи зародження мікротріщин, їх розвиток і перетворення в макротріщини, що призводять до руйнування.

Основною причиною утворення неоднорідностей є процеси перекристалізації сірки при охолодженні, твердненні і структуроутворенні сірчаної мастики, що призводить до високих внутрішніх напружень і термоусадочних деформацій. Це посилюється також відсутністю процесу "самозаліковування" тріщин, що притаманне в цементним системам.

Відносні деформації нижньої грані зразків на сірчаному в'язучому під час прикладання навантаження змінювалися несуттєво. Тензометричні вимірювання показали, що ці деформації знижувалися до моменту руйнування балочок не більше ніж на 15%, в той час як для зразків на цементі - на 50%. Якісна зміна відносних деформацій характеризує ступінь розпушення структури матеріалу.

Якщо руйнування зразків розділити на дві стадії - повільного зародження і розвитку мікроефектів і субмікротріщини, а також їх швидкого розвитку і об'єднання, то слід вважати, що в зразках на сірчаному в'язучому друга стадія протікає набагато швидше, ніж в цементних. Тому розпушення структури тут не встигає проявитися у вигляді зміни відносних деформацій при постійному зовнішньому навантаженні.

Зменшення відносного вмісту сірки при збільшенні кількості заповнювача дещо підвищує границю витривалості, що підтверджує негативну дію концентраторів напружень в сірчаному в'язучому при перекристалізації сірки. З іншого боку, втомна міцність сірчаного бетону є максимальною при оптимальній кількості сірчаної мастики. При її недостатній кількості не всі порожнини заповнюються, а поверхня наповнювачів не в повному обсязі

обволікається сірчаної плівкою. При надмірній кількості стає можливим розвиток небезпечних усадочно-температурних деформацій при охолодженні бетону і перекристалізації сірки, що прискорюють розвиток деструктивних процесів.

Порівняння результатів випробувань зразків на цементному і сірчаному в'язучих, які мають приблизно однакову міцність, показує, що міцність на розтяг при згині і границя витривалості зразків на сірчаному в'язучому є в 2 і 1,4 рази вищою, хоча відносна витривалість на 30% нижча.

Заміна кварцових компонентів бетону вапняковими призвела до підвищення відносної границі витривалості з 0,33-0,38 до 0,42-0,46. Це можна пояснити формуванням більш однорідною мікроструктури, оскільки контактна зона сірки з вапняковими гідрофобними наповнювачами і заповнювачами більш щільна і міцна, ніж з гідрофільними кварцовими. Крім того, фізико-механічні властивості вапняків (густина, міцність, модуль пружності) більш порівнюванні з аналогічними характеристиками сірчаної мастики, ніж гранітного щебеню. Тому при циклічних навантаженнях структурні зв'язки швидше руйнуються в бетонах на гранітному щебені, так як концентрації напружень в контактних зонах є вищими.

Спільним для сірчаних бетонів на різних мінеральних компонентах є те, що їх міцність від втоми можна характеризувати показником f_{ctm} . З його зниженням відносна границя витривалості зменшується і навпаки (рис. 1).

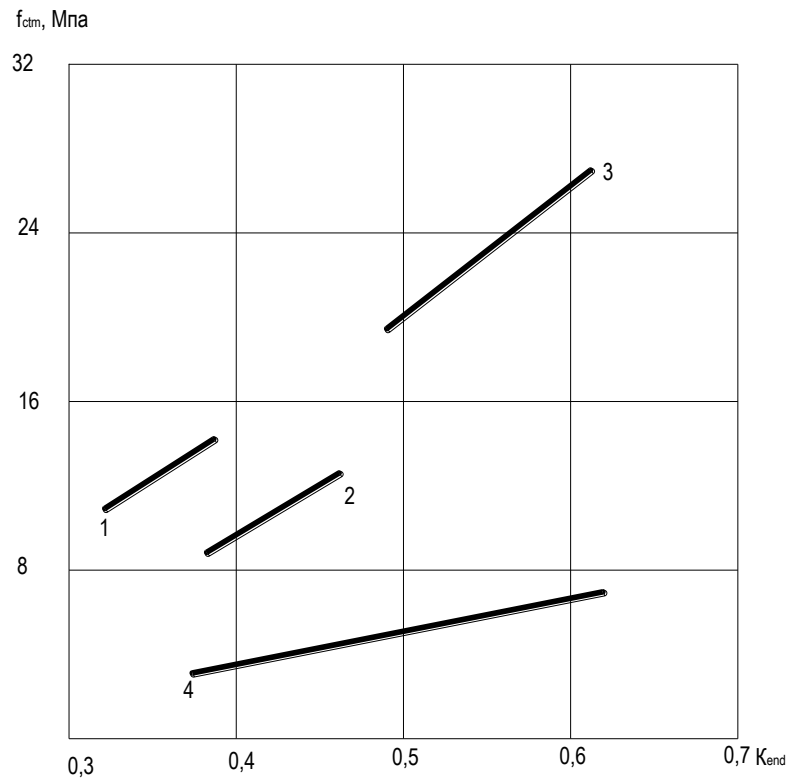


Рис. 1. Залежність коефіцієнта витривалості бетону від міцності на розтяг при згині: 1 - сірчаний бетон (сірка технічна, кварцове борошно, кварцовий пісок, гранітний щебінь); 2 - те ж, наповнювач і заповнювачі вапнякові; 3 - сірчаний бетон - сірка, модифікована 5% ДЦПД; 4 - важкий бетон (цемент, кварцовий пісок, гранітний щебінь).

Коефіцієнт витривалості модифікованого сірчаного бетону виявився на 24-30% вищим, ніж немодифікованого. Це пояснюється тим, що результатом модифікування сірки є зниження модуля пружності і підвищення границі міцності на розтяг при згині. Це призводить до зниження внутрішніх напружень і зменшення кількості перенапружених мікрообластей в структурі бетону і, відповідно, до підвищення границі його витривалості.

Таким чином, модифікування сірки покращує пластичні властивості сірчаного бетону, що сприяє уповільненню процесів втомного руйнування при високих рівнях напруженнях. В цей же час відомо, що фізична межа втоми в кінцевому рахунку визначається пружними зв'язками, і тому при навантаженнях, близьких до цієї границі, бетони з менш вираженим характером

пластичності є витривалішими. Це особливо властиво модифікованим сірчаним бетонам.

На другому етапі досліджень було проведено аналіз результатів випробувань зразків, висушених до постійної маси, повітряно-сухого зберігання і водонасичених.

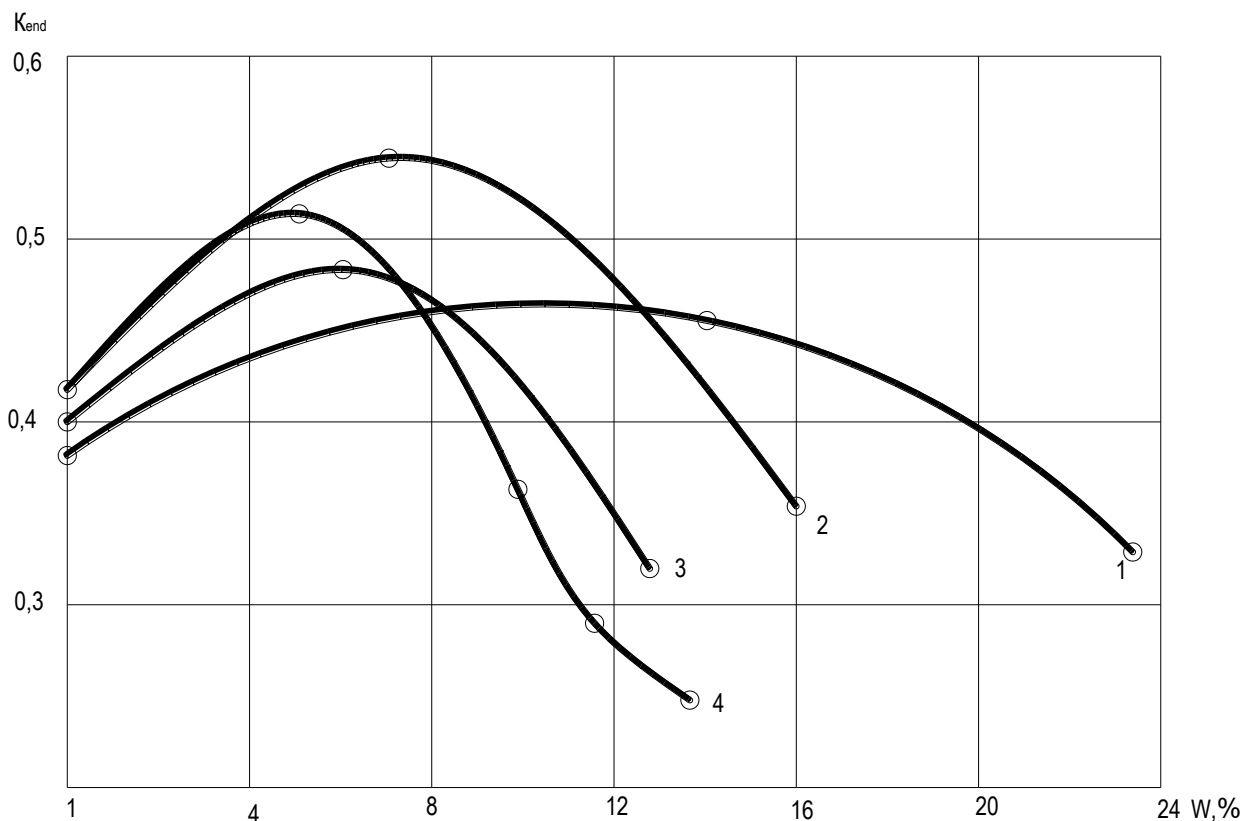


Рис. 2. Залежність відносної границі витривалості від вологості зразків:

1 - цементно-піщаний розчин Ц:П = 1:1; 2 - те ж, Ц:П = 1:2; 3 - те ж, Ц:П = 1:3; 4 – бетон на основі цементу (Ц:П:Щ = 1:1,4:2,6).

Встановлено (рис. 2), що дрібнозернистий піщаний бетон при однаковій міцності з крупнозернистим має в середньому відносну границю витривалості на 15% вищу. Це можна пояснити його кращою однорідністю і пластичністю.

Відомо, що при водонасиченні міцність бетону знижується [4]. Досліди показали, що абсолютна і відносна (до статичної міцності) границі витривалості також знижуються. Максимальне значення цих величин отримано для зразків, які випробувані в повітряно-сухому стані. При висушуванні до постійної ваги у

всіх випадках спостерігається також зниження абсолютної і відносної меж витривалості при зниженні границі міцності як при стиску, так і розтягу при згині. Можна припустити, що це пов'язано із вивільненням пористості і капілярів від вільної води, зниженням внутрішнього тиску і активізацією процесів усадки, що викликає напруження розтягу [5].

Щодо сірчаних бетонів, абсолютна і відносна витривалість після їх експозиції у воді протягом 24 години і випробуванні багаторазово повторюваним навантаженням практично не змінилася. Це пояснюється відсутністю в структурі відкритої капілярної пористості і гідрофобною природою матеріалу. Модифікування сірчаних композитів 5% дициклопентадієну значно підвищує відносну витривалість.

ВИСНОВКИ

Дослідження показали, що витривалість цементних бетонів у вологих умовах знижується внаслідок утворення водонасиченого шару у розтягнутій зоні. Втомна тріщина, що виникла і швидко проростає в ньому, є концентратором напружень. Це явище відсутнє при використанні сірчаного бетону, який водою практично не насичується, а процеси поперемінного зволоження та висихання відсутні.

Найбільшу небезпеку для сірчаних бетонів становлять температурні перепади. Це пов'язано з високою термічною чутливістю сірки та її високими температурними коефіцієнтами лінійного і об'ємного розширення порівняно з цементним каменем.

Втомна міцність цементних та сірчаних бетонів зменшується з підвищенням температури, і має максимальне значення при вологості, що відповідає повітряно-сухому стану зразків.

Відсутність в структурі сірчаного бетону активної капілярної пористості виключає водонасичення, а при низьких температурах - утворення льоду, що

обумовлює високу морозостійкість при його експлуатації в умовах знакозмінних температур.

Поперемінна дія позитивних і негативних температур, особливо при великих перепадах, руйнує структуру обох видів бетонів, особливо крупнозернистих, підвищує їх неоднорідність і густину, що призводить до зниження як статичної, так і втомної міцності.

На витривалість бетону найбільше впливає мікроструктура цементного каменю та сірчаної мастики, властивості контактної зони з поверхнею зерен мінеральних наповнювачів, а для сірчаних бетонів - модифікований стан сірки.

Втомна міцність сірчаного бетону є максимальною при оптимальному вмісті сірчаної мастики. Найбільш витривалим є бетон, який приготований на карбонатних матеріалах і модифікований сірці.

Література

1. *Пирадов К. А., Гузев Е. А.* Механика разрушения железобетона. - М.: Новый век, 1998. - 190 с.

1. *Орловский Ю. И.* Бетоны, модифицированные серой: Дис. ...докт. техн. наук: 05.23.05. - Харьков, 1992. - 529 с.

2. *Орловский Ю. И., Семченков А. С., Маргаль И. В.* Усталостная прочность серных бетонов // Бетон и железобетон. - 1998. - № 2. - С. 6-9.

3. *Вербицкий Г. П.* Прочность и долговечность бетона в водной среде. - М.: Строй- издат, 1976. - 128 с.

4. *Курносоев Э. А.* Роль свободной воды в процессе структурообразования дисперсных систем // Бетон и железобетон. - 1991. - № 4. - С. 22-23.

5. *Сервисен С. В.* Усталость материалов и элементов конструкций. - К.: Наук, думка, 1985.-236с.

6. *Волеушев А. Н.*, Строительные и прочностные особенности серных композиций // Строительный журнал Весь Бетон 2011.

7. *Волеушев А. Н.* Серное вяжущее и композиции на его основе. М.: Журнал «Бетон и железобетон», 1997, №5, - С. 46 – 48.

8. *Личман Н. В.* Серные бетоны на основе промышленных отходов Норильского региона //Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.23.05, Норильськ, 2002.- 198 с.