ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ

Котенко А.В., ст. гр. ДМ-21-22, ХНАДУ
Тітов О.В. ,ст. гр. ДМ-16т1-23, ХНАДУ
Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. МКіБМ Ігнатенко А.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Одним з істотних факторів, що впливають на напружено-деформований стан (НДС) конструкцій є температура. Температурне нагрівання бетонних, залізобетонних і сталебетонних конструкцій зустрічається як у процесі їх експлуатації, так і при їх виготовленні. Прикладом може бути нагрівання конструкцій аеродромних покриттів і ракетних майданчиків, нагрівання бетону при термореактивному методі попереднього напруження як залізобетонних, так і сталебетонних конструкцій і в багатьох інших випадках.

Величина температурних напружень, що виникають при нагріванні, може виявитися досить високою і призвести до появи тріщин у конструкціях або навіть до їх руйнування при низьких експлуатаційних навантаженнях або навідь за їх відсутності.

Відомо також, що щорічні збитки від пожеж у країнах Європейського Союзу, Китаю, Японії та США складають приблизно 2 % їх національного прибутку, у зв'язку з чим там систематично виділяють достатньо коштів на дослідження вогнестійкості залізобетонних і сталебетонних конструкцій.

Проєктування та експлуатація будівель і споруд, що працюють в умовах високотемпературного нестаціонарного нагрівання, супроводжується зміною фізико-механічних властивостей матеріалів та виникненням градієнтів температури, що в свою чергу супроводжуються неоднаковими тепловими деформаціями частин несучих елементів.

Від інтенсивності й характеру розподілу температурних напружень і

деформацій у конструкції залежать її тривала міцність, термічна втома, а також розрахункові опори для матеріалів при різних умовах навантаження, стан стійкості, твердість та ін.

Відомо, що у процесі нагрівання теплопровідність і теплоємність бетонів істотно змінюються, а характер і темп цих змін залежать від виду, щільності й тривалості нагрівання бетону. А при нагріванні конструкції змінюються міцнісні, пружнопластичні, теплофізичні й механічні властивості матеріалу.

Фізико-хімічні процеси, що призводять до втрати міцності бетону, надзвичайно складні. Так, у межах температур нагрівання до 100-200 ºС фізико-механічні властивості бетону практично не змінюються, однак з'являється інтенсивне внутрішнє паровиділення за рахунок випаровування вільної води в мікропорах. Істотне значення має тиск пари ρ_n. Залежно від швидкості прогрівання (величини теплових потоків) і паропроникнення бетону його величина може перевищувати критичну міцність бетону на розтягнення, що може призвести до росту мікротріщин до макроскопічних розмірів, тобто до розтріскування бетону.

Для дійсного повного опису фізико-хімічних процесів, що відбуваються в бетоні в умовах високотемпературного впливу, необхідне знання таких характеристик, як розміри, форма й кількість мікропор, знання фракційного розподілу мікрокристалітів цементного каменю та заповнювачів і тому подібне. Уже перерахованих параметрів досить, щоб зрозуміти всю складність детального опису пожежостійкості бетону. Тому на практиці вводять припущення про середні значення цих параметрів і задають міцнісні характеристики у вигляді функції температури та часу нагрівання, виходячи з дослідних даних.

Міцність бетону на осьове розтягання й стиск досліджена багатьма вченими, серед яких: Н.С. Бушуєв, Ю.В. Зайцев, М.І. Карпенко, О.П. Кричевський, А.Ф. Милованов, К.Д. Некрасов та інші. Результати цих досліджень показують, що при пожежі бетон, який має природну вологість, у

навантаженому стані піддається швидкому короткочасному нагріванню, що змінює його міцнісні властивості.

Більш детальні дослідження залежності міцності бетону від температури свідчать про те, що потрібно виділити чотири класи бетону: важкий бетон, керамзитобетон, високоміцний бетон, керамзитоперлітобетон, для яких залежність коефіцієнта умов роботи від температури приблизно однакова (рис. 1).

У важкого бетону природної вологості (рис. 1, а) спостерігається крихке руйнування призм при температурі нагрівання до 200 ºС по площинах, паралельних стискальній силі. За більш високої температури нагрівання руйнування відбувалося більш плавно, через появу більших пластичних деформацій.

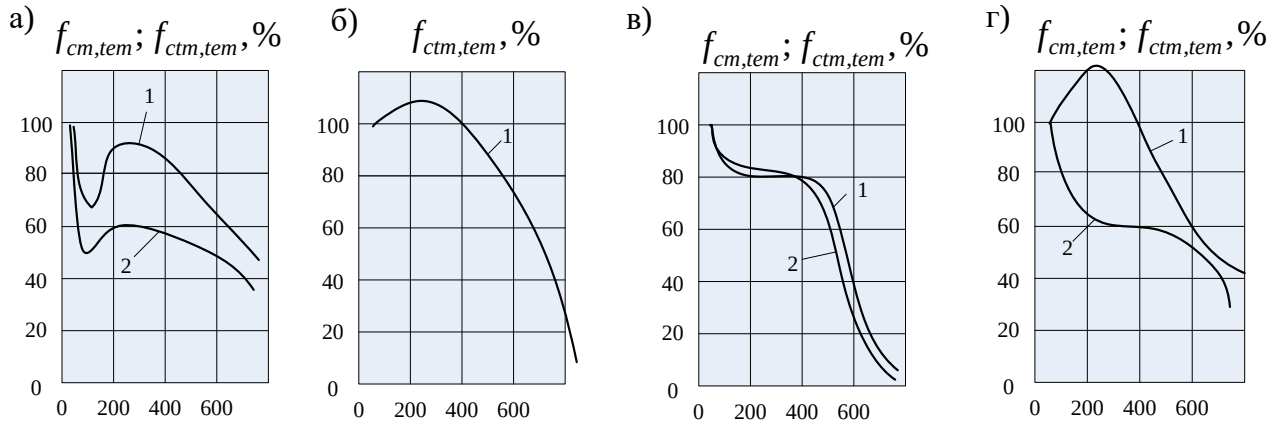

Рисунок 1 – Вплив нагрівання на призмову міцність (1) і міцність на розтягання (2): а) – звичайний важкий бетон; б) – керамзитобетон; в) – високоміцний бетон; г) – керамзитоперлітобетон

Крім того, однією з основних причин зниження міцності бетону, запевняє А.Ф. Милованов, є виникнення додаткових напружень, обумовлених порушенням зв’язку між заповнювачем і цементним каменем внаслідок того, що застиглий цемент, який обезводнився, дає усадку, а зерна заповнювача розширюються.

Керамзитобетон. Із підвищенням температури нагрівання спостерігається помітне зниження міцності на стиск керамзитобетону (рис. 1, б), внаслідок різниці температурних деформацій цементного каменю і заповнювача та дегідратації продуктів тверднення цементу. При цьому утворяться мікротріщини в коагуляційно-кристалізаційній структурі цементного каменю й на межі контактів між цементним каменем і заповнювачем.

Високоміцний бетон (класів С35/45 – С50/60). Руйнування зразків, що зберігалися на повітрі протягом 7 діб після короткочасного нагрівання до 800 ºС, пояснюється порушенням структури бетону внаслідок різниці температурних деформацій цементного каменю й заповнювача, модифікаційного перетворення кварцу в заповнювачі, дегідратації гідрату окису кальцію та гасіння вільного окису кальцію цементного каменю після нагрівання (вище 600 ºС) і охолодження бетону.

Характер зниження міцності попередньо висушених зразків такий самий, як для зразків з бетону природної вологості. При цьому зміна відносної призмової міцності не залежить від класу бетону.

Керамзитоперлітобетон (рис. 1, г). Кубикова міцність бетону, висушеного при 110 ºС, знижується інтенсивніше, ніж у бетону, що мав природну вологість, однак при 800 ºС вони практично однакові.

Аналізуючи дослідження про вплив температури до 800 ºС на міцність при стисканні й розтяганні на призмову міцність, слід зазначити, що міцність бетону на стиск у нагрітому і в остиглому станах після нагрівання до 500 ºС є приблизно однаковими. При нагріванні вище 500 ºС міцність на стиск бетону після нагрівання в охолодженому стані була дещо меншою, ніж у нагрітому стані.

Для методики розрахунку напружено-деформованого стану сталебетонних конструкцій з урахуванням температурних впливів необхідно оперувати аналітичними залежностями, що описують повну діаграму деформування бетону при підвищених температурах.

Новий підхід до виявлення граничного стану при нерівномірному нагріванні запропонував С.Л. Фомін. У роботі на основі обробки експериментальних даних сформульований принцип афінноподібності для дослідженого важкого бетону. Цей принцип полягає в тому, що діаграми $\sigma - \varepsilon$ при нагріванні залишаються інваріантними по відношенню до афінних перетворень площини заданої температури нагрівання в площину при нормальній температурі.

Для розрахунку конструкцій при високих температурах необхідно знати теплофізичні характеристики λ і С. Для бетону визначення теплофізичних характеристик при нагріванні виконується методом розв’язання зворотної задачі теплопровідності, відповідно до якої теплофізичні характеристики визначаються шляхом зіставлення експериментальних і розрахункових кривих прогрівання матеріалу. Теплопровідність і теплоємність між собою пов'язані наведеним коефіцієнтом теплопровідності.