

УДК 69.059.22:699.8

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ АРМАТУРИ І БЕТОНУ КОЛОН ПРИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВАХ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ АРМАТУРЫ И БЕТОНА КОЛОНН ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DURABILITY OF ARMATURE AND CONCRETE OF COLUMNS AT HIGH TEMPERATURE INFLUENCES

Семиног Н.Н., Отрош Ю.А., к.т.н., доц., Голоднов А.И., д.т.н., проф.
(Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкассы)

Семиног М.М., Отрош Ю.А., к.т.н., доц., Голоднов О.И., д.т.н., проф.
(Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, г. Черкассы)

Seminog N.N., Otrosh Y.A., candidate of engineering sciences, associate professor, Golodnov A.I., doctor of technical sciences, professor (Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy)

Викладено методичні підходи до визначення міцності бетону колон і арматурних стержнів при високотемпературному нагріві. Наведено результати експериментальних досліджень.

Изложены методические подходы к определению прочности бетона колонн и арматурных стержней при высокотемпературном нагреве. Приведены результаты экспериментальных исследований.

The methodical going is expounded near determination of durability of concrete of columns and re-barss at the high temperature heating. Results over of experimental researches are brought

Ключові слова

арматура, бетон, нагрів, випробування, міцність.

арматура, бетон, нагрев, испытания, прочность.

armature, concrete, heating, tests, durability.

Стан питання та задачі досліджень. Залізобетонні елементи залишаються основними складовими частинами житлових і громадських будинків. Останнім часом у зв'язку зі значним зростанням об'ємів

будівництва монолітно-каркасних будівель підвищеної поверховості актуальним стає питання пожежної безпеки при експлуатації, в першу чергу, колон і пілонів, що працюють на стиск, оскільки виключення з роботи таких елементів може призвести до руйнування будинку в цілому.

На несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, що знаходяться в умовах пожежі, впливають фізико-механічні властивості матеріалу конструкцій, які змінюються залежно від температури нагріву. Зокрема, такі властивості визначаються межею міцності (R) і модулем пружності (E) матеріалу, з якого виконано конструкції [1].

При зміні температури від 20 °С до 200...300 °С межа міцності деяких марок сталей і бетону збільшується: в першому випадку за рахунок зниження технологічних напружень, а в другому – за рахунок зменшення вільної вологи в порах бетону.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, що призводить до збільшення деформативності конструкції.

Важливе значення для аналізу поведінки конструкцій в умовах пожежі має характер їхньої деформації. Температурне розширення бетону в основному залежить від температурних деформацій його заповнювачів. Величина температурних деформацій у важких бетонів на гранітному щебені майже в два рази перевищує температурні деформації легких бетонів на заповнювачі у вигляді керамзиту.

Деформації температурного розширення арматурних сталей зростають з ростом температури до 700 °С.

Відносно сталевих конструкцій, а також сталеві арматури в залізобетонних конструкціях, значення загальної деформації при пожежі залежить від деформації температурного розширення, зміни модуля пружності, а також деформації повзучості. Під поняттям «температурна повзучість» мається на увазі зміна деформацій в часі при постійних значеннях температури та чинного навантаження. Основними чинниками, що впливають на величину та швидкість повзучості, є величини напруження, температура, а також тривалість їхньої дії. З цих чинників основним залишається рівень напружень, що впливає на швидкість повзучості при певній температурі. Зі збільшенням величини напружень швидкість температурної повзучості зростає [1].

Метою цих досліджень було виявлення особливостей роботи і зміни характеристик міцності бетону та сталеві арматури при температурних впливах.

Основна частина. Для випробувань було виготовлено два ідентичні зразки залізобетонних колон перетином 600x600 мм заввишки 2000 мм. Зразки було виготовлено на Броварському ЗБВ у металевій опалубці. Одну колону було піддано випробуванням на вогнестійкість, а іншу було використано як контрольну.

Кожний зразок мав несучий арматурний каркас, який складався з восьми

поздовжніх арматурних стержнів $\varnothing 20$ мм класу А400С за ДСТУ 3760:2006 [2]. Поперечну арматуру прийнято $\varnothing 10$ мм класу А240С за ДСТУ 3760:2006 [2]. Поперечну арматуру було встановлено по зовнішньому контуру поздовжніх арматурних стержнів. Крім того, було встановлено арматуру $\varnothing 10$ мм А240С, яка об'єднала центральні стержні по кожній грані (рис. 1).

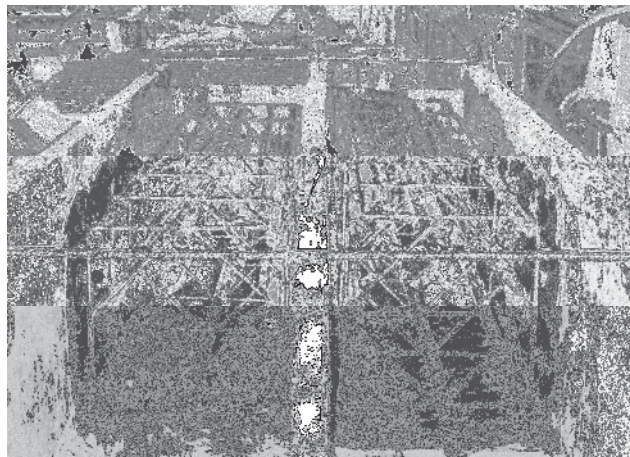


Рис. 1. Встановлення арматури в опалубку колон

Крім цього, було виготовлено допоміжні зразки (куби, призми, фрагменти арматурних стержнів). Випробування допоміжних зразків дозволило отримати дані про фізико-механічні характеристики застосованих матеріалів.

Усі основні та допоміжні зразки виготовлялися з бетону одного складу.

Зразки знаходилися в опалубці впродовж семи діб під шаром вологої тирси. Після розпалубки колони і допоміжні зразки зберігались протягом 28 діб.

Після витримки для визначення класу бетону було виконано випробування кубів та призм. Характеристики бетону визначалися при стандартних випробуваннях допоміжних зразків. Розміри кубів було прийнято такими, що дорівнюють $100 \times 100 \times 100$ мм, а призм – такими, що дорівнюють $100 \times 100 \times 400$ мм.

Випробування кубів, призм і відрізків арматурних стержнів виконано в лабораторії БЗБК.

Після витримки 28 діб і випробувань допоміжних зразків колони було перевезено у випробувальний зал, де вони зберігалися в нормальних умовах температури і вологості до початку випробувань.

Для встановлення однорідності та характеристик застосованого бетону після виготовлення колон було проведено інструментальні дослідження неруйнівними методами. Визначення міцності бетону кубів, призм і колон

було виконано ультразвуковим методом за ДСТУ Б В.2.7-226:2009 [3]. Суть ультразвукового методу полягає у вимірах часу t проходження ультразвуку (УЗК) від випромінювача до приймача і бази L прозвучування (відстані між випромінювачем і приймачем). По вимірних величинах було розраховано швидкість $C = L/t$ проходження ультразвукових коливань і по встановленій залежності між швидкістю і міцністю визначено міцність бетону на контрольованій ділянці. Виміри швидкості ультразвуку було виконано способом наскрізного прозвучування.

На першому етапі було виконано виміри в колонах до випробувань на вогнестійкість. Випробування проводилися з використанням ультразвукового приладу УК-14ПМ з абсолютною погрішністю виміру часу t поширення ультразвуку $\pm 0,01t + 0,1$ (мкс). Виміри виконувалися способом наскрізного прозвучування з використанням механічно не пов'язаних між собою п'єзоелектричних перетворювачів з резонансною частотою 60 кГц.

Після проведення попередніх випробувань було виконано вогневі випробування колон. Випробування колон було виконано на відповідному обладнанні випробувального центру ТОВ «ТЕСТ». Для випробувань було використано спеціальну випробувальну піч та відповідні засоби виміральної техніки, які забезпечили отримання результату. Перед випробуваннями зразки було витримано у приміщенні для кондиціонування зразків згідно з п. 7.1.4 ДСТУ Б В.1.1-4-98* [4].

Оскільки колони випробувались без навантаження, межу вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності (ознака R) було визначено, виходячи з розподілу температур по перетину колони. Несучу здатність було оцінено по перевищенню середньої температури стержнів несучої арматури від початкового значення температури на 480°C . Для вимірювання температури поздовжньої арматури зразків під час випробувань на чотирьох арматурних стержнях кожного зразка було встановлено термопари ТХА. Для отримання розподілення значень температури по перетину зразка було встановлено по п'ять термопар ТХА.

Втрата несучої здатності колони під час випробувань відбулась на 152 хв., оскільки значення середньої температури ($T_{1,ср}$) поздовжньої несучої арматури зразка перевищила початкове значення на 480°C .

Після випробувань було виконано обстеження колони. За результатами обстеження було встановлено, що бетонна поверхня колони зазнала суттєвих руйнувань у вигляді тріщин. Виконати випробування колони ультразвуковим методом з метою визначення міцності бетону за цих умов виявилось неможливим.

Після випробувань було виконано розрізання колони з метою визначення характеру руйнування та характеристик бетону по перетину. Розрізання виконано в умовах заводу на спеціалізованому обладнанні (рис. 2).



Рис. 2. Розрізання колони після випробувань на вогнестійкість

Розрізання дозволило встановити, що в кутових зонах і по периметру відбулося руйнування бетону з утворенням тріщин по колу. В центральній частині перетину було сформовано ядро, яке майже не зазнало руйнувань під час випробувань (рис. 3).

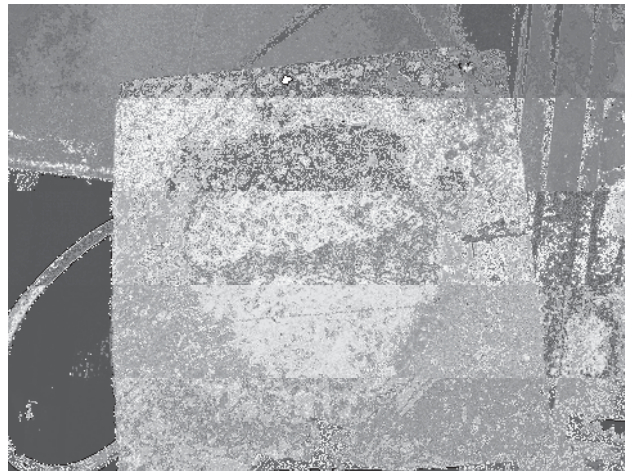


Рис. 3. Перетин колони після розрізання

Крім цього, було проведено випробування зразків арматури на розтяг, які було вилучено з колони.

Залежності зміни характеристик міцності бетону встановлено методом найменших квадратів. Формули, що враховують зміну міцності бетону при нагріванні, мають вигляд:

- для керамзитобетону

$$\frac{R_{b,tem}}{R_b} = 0,98 + 0,102 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,02555 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (1)$$

- для важкого бетону на ділянці від 60 °С до 700 °С

$$\frac{R_{b,tem}}{R_b} = 0,6184 + 0,232 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,03608 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (2)$$

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності. Формули, що враховують зміну модуля пружності при нагріванні, мають вигляд:

- для керамзитобетону

$$\frac{E_{b,tem}}{E_b} = 1,025 - 0,121 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) + 0,00367 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (3)$$

- для важкого бетону на ділянці від 120 °С до 800 °С

$$\frac{E_{b,tem}}{E_b} = 1,2 - 0,14 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0012 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (4)$$

Таким чином, запропоновано залежності, які дозволяють враховувати зміну модуля пружності та міцності різних бетонів в залежності від температури як для проєктованих конструкцій, так і тих, що знаходяться в експлуатації.

За результатами проведених досліджень зроблено висновки.

1. Зміна характеристик міцності несучої арматури класу А400С при нагріванні до температури 500 °С практично не відбулася. Це дозволяє зробити висновок про можливість використання характеристик міцності арматури, які рекомендовано чинними нормативними документами, для визначення остаточної несучої здатності конструкцій після пожежі за умов нагрівання до температур, які не перевищують 500 °С.

2. Міцність бетону зразків-кубів, які було вилучено із зовнішніх шарів, суттєво зменшилась (майже в 1,5 рази). Міцність бетону центрального ядра зменшилась приблизно в 1,16 рази. Це дозволяє зробити висновок про необхідність врахування такого фактору при визначенні залишкового стану

конструкцій після пожежі. При розробці проекту підсилення конструкцій слід орієнтуватись на оббетонування конструкцій, що дозволить бетону працювати «в обіймі» і сприймати чинні навантаження.

Для отримання експериментальних даних, які б свідчили про характер деформування та руйнування сталеві арматури під час впливу високих температур, було проведено дослідження зразків арматурної сталі різних класів (A240, A400, A500, A600) за ДСТУ 3760:2006 [2]. Зразки, які було виготовлено з одного прута арматурної сталі, мали однакове маркування.

Програмою випробувань передбачалось:

- виготовлення зразків з арматурної сталі для подальших випробувань при термічних впливах;
- проведення хімічного аналізу для уточнення класу арматурної сталі;
- визначення магнітних властивостей металу для виявлення однорідності матеріалу та бракування зразків;
- проведення випробувань виготовлених зразків при термічних впливах;
- проведення стандартних випробувань зразків на розтяг;
- визначення за результатами випробувань класу арматурної сталі.

Було випробувано зразки 4 серій. Довжина кожного із зразків, які було взято з прутів, становила 400 мм. Частина зразків (2 шт.) було випробувано в стані постачання при кімнатній температурі на розривній машині ГРМ-2М.

Для проведення випробувань при термічних впливах з арматурної сталі $\varnothing 12$ мм на токарному верстаті було виготовлено зразки згідно вимог ГОСТ 1497-84 [5] (Додаток 2, тип II), які мали вигляд гантелей із стовщеннями на кінцях. Довжина зразків становила 100 мм, діаметр робочої частини становив 6 мм. Випробування проводились на розривній машині УМ-4Р, яка може розвивати максимальне зусилля розтягу 40 кН.

Нагрівання зразків до максимальної температури 1000 °С було виконано за допомогою трубчастої електропечі. Температуру нагріву контролювали за допомогою термопар «платина-родій-платина» та фіксували за допомогою приладу КСП-3П.

Після встановлення зразка в розривну машину було виконано розігрівання до фіксованої температури (100 °С, ..., 700 °С з інтервалом 100 °С). Після витримки при такій температурі протягом 30 хв. було виконано випробування на розтяг протягом 2...3 хв.

В ході проведення випробувань було отримано наступне.

1. Для всіх випробуваних зразків залежність межі міцності від температури має схожий характер: при зміні температури від 20 °С до 200...300 °С межа міцності збільшується, а потім починає зменшуватись. При температурі 700 °С межа міцності дорівнює приблизно 0,1 від величини межі міцності при 20 °С (рис. 4).

2. Межа текучості для всіх випробуваних зразків із збільшенням температури зменшується і має вигляд пологої кривої (рис. 5).

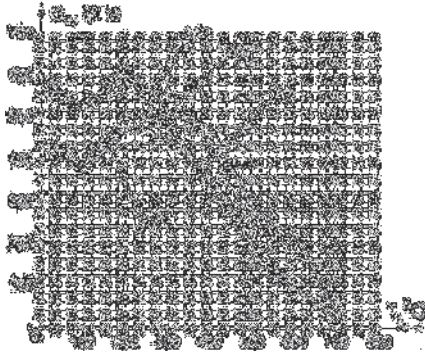


Рис. 4. Залежності межі міцності від температури

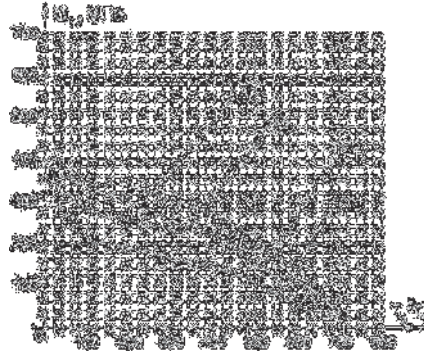


Рис. 5. Залежність межі текучості від температури

3. Коефіцієнт зниження нормативного опору арматурної сталі із збільшенням температури зменшується і має вигляд пологої кривої.

1. Голоднов О.І. Визначення характеристик міцності бетону й арматури при проведенні досліджень вогнестійкості залізобетонних колон / О.І. Голоднов, Ю.А. Отрош, І.А.Ткачук, М.М. Семиног / Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси; АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – С. 37-43. 2. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. – Надано чинності 11.12.2006. К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с. 3. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. – Введ. вперше. Надано чинності: наказ Мінрегіонбуду України 22.12.2009 року № 649. –К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 33 с. 4. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. – Уведено вперше. – К.: Держбуд України, 2005. – 19 с. 5. ГОСТ 1497-84* (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 417-77). Металлы. Методы испытания на растяжение: Взамен ГОСТ 1497-73. – Введ. с 01.01.86. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1986. – 36 с.