

М.М. Гивлюд, Ю.В. Гуцуляк, О.І. Башинський, Т.Б. Юзьків, А.Л. Тодореску  
 Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
 кафедра наглядово-профілактичної діяльності  
 79000, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

## ВПЛИВ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ БЕТОНУ

© Гивлюд М.М., Гуцуляк Ю.В., Башинський О.І., Юзьків Т.Б., Тодореску А.Л., 2007

**Наведено результати дослідження впливу базальтового волокна на міцнісні характеристики бетону при нагріванні. Встановлено, що армування бетону базальтовими волокнами в розтягнутій зоні підвищує при нагріванні міцність на згин та вогнестійкість.**

**The result of the investigation of the basaltic fiber influence on the firmness of concrete characteristics at heating are given. It is determined that the concrete reinforcement in the extension area by the basaltic fiber increases his firmness to bend an fire resistance at heating .**

**Постановка проблеми.** Наукові та техніко-економічні прогнози на найближчі десятиліття свідчать про необхідність подальшого покращання якості бетонів при високих температурах, чого можна досягти за рахунок раціонального добору компонентного складу, а також модифікування їхньої поверхні. Відбувається корінна переорієнтація поглядів матеріалознавства на проблему довговічності та експлуатаційної надійності бетонів на різних видах в'язучих, які можуть працювати в умовах підвищених температур та дії вогню [1,2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Головним фактором, який впливає на будівельні бетонні конструкції під час пожежі, є висока температура, за рахунок чого вони втрачають несучу здатність і руйнуються. Дія високої температури та механічних навантажень веде до створення в конструкціях деформацій теплового розширення, зсідання і повзучості [3,4]. В процесі нагрівання і дії високих температур на довговічність будівельних бетонних конструкцій істотно впливає фазовий склад в'язучого і наповнювача за рахунок різниці термомеханічних властивостей. Напруження, які виникають у бетоні внаслідок температурного градієнта при нагріванні, можуть привести до його руйнування [5,6]. Також важливим елементом, що впливає на поведінку бетонних конструкцій під час нагрівання, є вид армуючого компонента та його поведінка в умовах пожежі.

Для порівняльних досліджень як армуючий матеріал використовували базальтове волокно, одержане із розплаву. Його стійкість до дії високих температур визначається рекристалізаційною здатністю, що приводить до суттєвої втрати міцності і руйнуванню та температурною стійкістю, яка відповідає температурі появи рідкої фази.

Стійкість волокна проти рекристалізації пов'язана із вмістом в ньому оксидів-склоутворювачів. Кристалізаційна здатність системи залежить від компонентного складу волокна і визначається із врахуванням діаграми стану. Чим менший в системі вміст склоутворювача, тим більша швидкість охолодження розплаву. Здатність оксидів до склоутворення визначається критерієм Гаріно–Каніна, який має такий вигляд:

$$A = z^2 \cdot \left( \frac{V_v}{V_c} \right) \cdot \frac{4}{3},$$

де  $z$  – валентність,  $V_v$  і  $V_c$  – відповідно сумарний об'єм порот і катіонів в одиниці маси.

Оксиди, які мають критерій  $A$  понад 1000 є типовими склоутворювачами. Із шести оксидів-склоутворювачів з критерієм понад 1000 найбільш доцільно використовувати  $SiO_2$ , і його вміст в системі має бути не меншим за 30мас.%. Для зменшення температуростійкості до складу волокна можуть входити вогнетривкі оксиди ( $Al_2O_3, MgO, CaO$ ), що відповідає складу природних базальтів, з якого одержують вказаний матеріал.

Втрата міцності при рекристалізації залежить не тільки від речовинного складу волокна, але і від його діаметра. В товстих волокнах (понад 10 мкм) внутрішні напруги, які приводять до руйнування в процесі кристалізації, набагато більші, ніж в тонких (1–5 мкм). Тому жаростійкі базальтові волокна повинні мати діаметр не більший за 5 мкм.

**Результати досліджень.** Вивчення змін властивостей досліджуваних бетонних зразків на основі портландцементу (ПЦ II/A-Ш), шлакопортландцементу (ШПЦ III/A), гранітного заповнювача (фракція 5–20 мм) і базальтового волокна при високих температурах проводили після їх тверднення протягом 28 діб з подальшим нагріванням при 200, 400, 600, 800, 1000 °С з витримкою 2 години. Розрахункова марка вихідного бетону В 20.

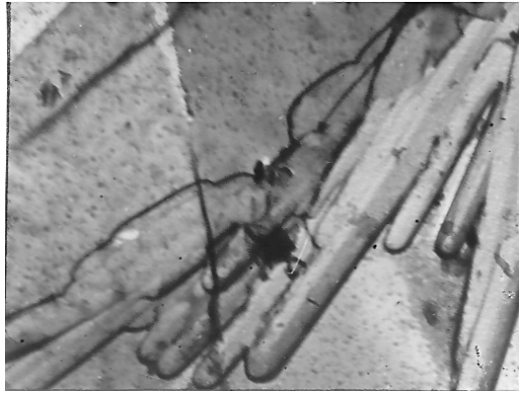
Характер зміни міцності бетонів при нагрівання наведено в таблиці.

#### Фізико-механічні властивості бетону при нагріванні (ГОСТ 310.1-4)

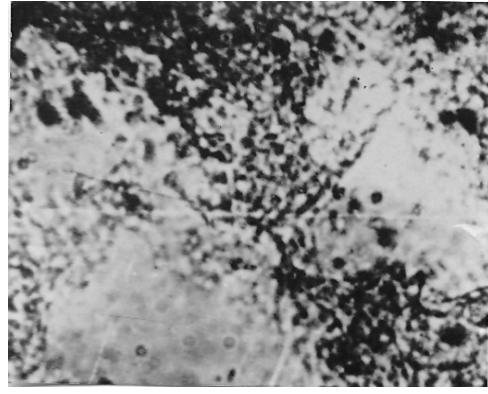
№ з/п	Температура нагрівання, °С	Границя міцності, МПа					
		при стиску			при згині		
		не армований	на основі ПЦ II/A-Ш (армований базальтовим волокном)	на основі ШПЦ III/A (армований базальтовим волокном)	не армований	на основі ПЦ II/A-Ш (армований базальтовим волокном)	на основі ШПЦ III/A (армований базальтовим волокном)
1	20	20,36	21,29	19,87	1,35	1,94	1,62
2	200	29,78	31,03	27,92	1,52	2,51	2,43
3	400	17,21	20,01	21,33	1,03	2,04	2,12
4	600	10,42	12,62	14,21	0,62	1,64	1,82
5	800	3,12	5,19	9,14	0,98	1,57	1,89
6	100	3,87	6,03	9,82	1,09	1,83	2,08

Аналіз зміни фізико-механічних властивостей бетону (таблиця) залежно від температури показав, що при нагріванні до 200 °С міцність на стиск і згин зростає відповідно на 45–50 і 14–40 % за рахунок ущільнення структури, виділення води із гелеподібних складових в'язучого і кристалізації кальцію гідроксиду. Нагрівання до 400 °С приводить до зменшення міцності бетону на стиск при майже стабільній міцності на згин армованих базальтовими волокнами зразків. Значне падіння міцності на стиск (25–50 %) проходить при нагріванні в інтервалі температур 400–600 °С за рахунок дегідратації продуктів тверднення цементу. Мінімальне зменшення міцності на стиск спостерігається для бетонів на основі шлакопортландцементу. Необхідно зазначити, що міцність на згин зменшується на 40 % для неармованого волокнами зразка і на 12,5–25 % для армованого. Нагрівання зразків до 800 °С приводить до зменшення міцності на стиск неармованого бетону майже на 85 %, що практично означає його руйнування. Для бетону на основі шлакопортландцементу зменшення міцності при цій самій температурі становить близько 50 %. Поверхня зразків покрита тріщинами розміром від 3 до 30 мм. Подальше нагрівання до 1000 °С незначно підвищує міцність зразків на стиск і згин внаслідок часткового спікання матеріалу за рахунок активного кальцію оксиду.

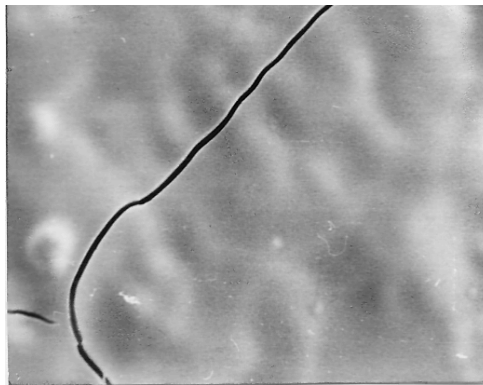
За даними електронної мікроскопії, в основній масі мікроструктура в'язучого представлена значною кількістю гідратних утворень у вигляді дрібних голчатих і лускоподібних кристалів, рівномірно розподілених серед гідросилікатної маси в об'ємі тверднучої речовини (рис. 1, а). При нагріванні до 600 °С на формування мікроструктури цементного каменю впливають процеси термодеструкції складових продуктів гідратації клінкеру. Мікрофотографія сколу бетону при вказаній температурі (рис. 1, б) підтверджує попередні дані про зміну структури, в результаті чого вона перетворюється із щільної у крихку. Пористість в'язучої складової сильно зростає внаслідок утворення окремих субмікрокристалів. Нагрівання до 1000 °С приводить до часткового оплавлення поверхні бетону з одночасною появою значної кількості крупних пор і розривів (рис. 1, в).



*a*



*б*



*в*

*Рис. 1. Мікроструктура цементно-піщаної складової бетону при нагріванні:  
а – вихідна, б – до 600 °С, в – до 1000 °С*

При нагріванні бетону проходить зміна пористості, яка значно впливає на значення фізико-механічних показників матеріалу. Згідно з даними рис. 2, пористість бетону починає активно зростати з нагріванням понад 400 °С.



*Рис. 2. Зміна пористості бетону при нагріванні*

В інтервалі температур 400–800 °С проходить збільшення пористості бетону на 45–50% для вихідного неармованого і армованого базальтовим волокном на основі портландцементу.

Для бетону на основі шлакопортландцементу характер зміни пористості при нагріванні має менш екстремальний характер. Збільшення пористості в цьому інтервалі температур нагрівання становить всього 6%, що можна пояснити утворенням на поверхні дегідратованих частинок тонкої плівки скловидної фази із шлакової складової цементу та стабілізацією структурно-активних компонентів. За рахунок явища адсорбційного модифікування поверхні окремих частинок високов'язкою склоподібною фазою виникають сприятливі умови для формування мінімально напруженої мікроструктури, результатом чого є вищі показники міцності порівняно із зразками на основі портландцементного в'язучого.

Нагрівання всіх досліджуваних зразків в інтервалі температур 800–1000 °С зменшує пористість на 12–17 % з рахунок процесів спікання компонентів бетону і часткового оплавлення його поверхні.

Межа вогнестійкості рядового бетону на портландцементі і гранітному крупному заповнювачі без армування становить 45 хв, армованому – 62 хв, а на шлакопортландцементі – 72 хв.

Для збільшення довговічності розроблених складів бетонів при експлуатації в умовах високих температур доцільно застосовувати вогнезахисні покриття, у яких захисний механізм ґрунтується на процесах спучування в умовах пожежі й утворення на поверхні матеріалу жаростійкого шару.

Розроблено склади покриттів на основі органічного в'язучого (карборансилоксанова смола), мінерального ( $Al_2O_3$ ) і теплоізолюючого (аеросил) наповнювачів.

Механізм вогнезахисної дії покриття ґрунтується на створенні теплоізолювального і температуростійкого шару на поверхні матеріалу за рахунок спучення при нагріванні з формуванням пористої і міцної структури, армованої ниткоподібними кристалами алюмінію силікату. Покриття володіє високою адгезійною міцністю при кімнатній температурі (5,3–5,8 МПа), а нагрівання в інтервалі температур 400–1000 °С зменшує її значення на 15–20% за рахунок термоокисної деструкції в'язучого. Покриття на сухий бетон наноситься пошарово товщиною 3–4 мм. При нагріванні зразків понад 400 °С за рахунок газоподібних продуктів термодеструкції карборансилоксану проходить спучення покриття і його об'єм зростає у 8,3÷11,4 раза при задовільній адгезійній міцності до бетону.

При випробуванні межа вогнестійкості для рядового бетону без армування становила 62 хв, армованому – 83 хв, а на шлакопортландцементі – 105 хв.

**Висновок.** Проведеними дослідженнями встановлено факт збільшення фізико-механічних властивостей бетону шляхом армування розтягнутої зони базальтовими волокнами при дії високих температур. Шляхом нанесення на поверхню бетону покриття, яке спучується при нагріванні, можна збільшити межу вогнестійкості на 30–40 %.

1. ДСТУ Б.В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. 2. Шабанова Г.Н., Тараненкова В.В., Романова В.В. Специальные вяжущие на основе композиций системы  $CaO - BaO - Fe_2O_3$  // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск, УГХТУ, 2003, №6. – С. 66–69. 3. Некрасов К.Д., Шейкин А.Е., Федоров А.Е. Влияние нагревания на прочность тяжелого бетона / Труды НИИЖБ „Жаростойкие бетоны”. – Госстройиздат, 1964. 4. Юзьків Т.Б., Лоза М.З. Вплив високих температур на міцність композиційних портландцементів з механохімічною активацією / Збірник наукових праць „Пожежна безпека”. ЛПБ, 2005. – №6. – С. 68–70. 5. Гивлюд М.М., Свідерський В.А., Федунь А.Б. Жаростійкі антикорозійні захисні покриття для конструкційних матеріалів / Мат. III Міжн. конф., Львів, 1996. – С. 182–184. 6. Гивлюд М.М., Вахула О.М., Топилко Н.І. Вплив температури нагрівання на процеси масопереносу в зоні контакту покриття-підкладка // Вісн. нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Хімія, технологія речовин та їх застосування” – 2004. – №497. – С. 131–134.