

М.М. Гивлюд¹, д-р техн. наук, професор, О.І. Башинський², канд. техн. наук, доцент, М.З. Пелешко², канд. техн. наук, доцент, М.О. Колтыпін¹
(¹НУ «Львівська політехніка», ²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ВПЛИВ ВИДУ В'ЯЖУЧОГО НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНУ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

У статті вивчено вплив в'язучого на процеси тверднення бетону та зміну фазового складу цементного каменю при нагрівання до 1000 °С. Встановлено, що наявність активних мінеральних добавок у композиційному цементі призводить до підвищення міцності бетону як при звичайних температурах, так і при нагріванні в умовах пожежі. Доведено, що наявність у композиційному цементі доменного шлаку та золи в інтервалі температур нагрівання 500-1000 °С призводить до зростання залишкової міцності бетону на 2,4 МПа, а модуля пружності у 2 рази, порівняно з бетоном на портландцементі.

Ключові слова: композиційний портландцемент, гідратація, структура бетону, руйнівне зусилля (навантаження), модуль пружності.

Н.Н. Гивлюд, О.И. Башинский, М.З.Пелешко, М.А. Колтыпин

ВЛИЯНИЕ ВИДА ВЯЖУЩЕГО НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

В статье изучено влияние вяжущего на процессы твердения бетона и изменение фазового состава цементного камня при нагреве до 1000 °С. Установлено, что наличие активных минеральных добавок в композиционном цементе приводит к повышению прочности бетона как при обычных температурах, так и при нагревании в условиях пожара. Доказано, что наличие в композиционном цементе доменного шлака и золы в интервале температур нагрева 500-1000 °С приводит к росту остаточной прочности бетона на 2,4 МПа, а модуля упругости в 2 раза по сравнению с бетоном на портландцементе.

Ключевые слова: композиционный портландцемент, гидратация, структура бетона, разрушающее усилие (нагрузка), модуль упругости.

M. M. Givlyud, O. I. Bashynskiy, M. Z. Peleshko, M. A. Koltypin

IMPACT OF PARTICULAR BINDER ON STRENGTH CHARACTERISTICS CONCRETE UNDER FIRE

In the article the influence of binder hardening of concrete processes and changes in the phase composition of cement by heating to 1000 C. It was established that the presence of active mineral adds in cement composite increases the strength of concrete at ordinary temperatures as well as when heated in a fire. It is proved that the presence of composite cement blast furnace slag and ashes in the temperature of heating 500-10000 C increase the residual strength of concrete 2.4 MPa, and the modulus of elasticity of 2 times compared with Portland cement concrete.

Keywords: composite Portland cement, hydration, structure of concrete, destructive force (load), modulus of elasticity.

Постановка проблеми. У всіх технічно розвинених країнах розвиток будівельних технологій спрямований на розроблення нових ефективних матеріалів, що дає змогу значно скоротити енергетичні та матеріальні затрати. Виробництво бетонних та залізобетонних конструкцій, які є визначальними будівельними матеріалами, постійно збільшується. Тому, заміна частини клінкеру в цементі відходами техногенного виробництва з підвищеним вмістом активних мінеральних добавок забезпечить значний внесок у збереження природних ресурсів. Враховуючи сучасні світові тенденції все більшого значення набувають композиційні цементі, що є альтернативою традиційному портландцементу. Вказані цементі повинні містити, згідно з вимогами, не менше двох видів мінеральної добавки різної природи активності.

Сучасні тенденції збільшення кількості пожеж та інших надзвичайних ситуацій, які призводять до їх виникнення, вказують на важливість питань визначення вогнестійкості бетонних і залізобетонних конструкцій, особливо тих, що отримані на нових видах в'язучих матеріалів. При цьому необхідно врахувати питання технологічних особливостей виготовлення бетонних конструкцій на основі композиційних цементів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Будівельні конструкції на основі бетону, згідно з ДБН В 1.1-7-2002, повинні забезпечувати необхідну межу вогнестійкості. З врахуванням сучасних технологій будівництва, а саме зменшення площі перерізу основних будівельних конструкцій, виникає необхідність вивчення впливу виду в'язучого на їх вогнестійкість.

Відомо [1, 2], що при твердненні портландцементу та його різновидів утворюються водовмісні кристалогідрати, які під дією високих температур пожежі розкладаються з руйнуванням кристалохімічної структури, що супроводжується втратою міцнісних характеристик, і як результат, руйнуванням конструкції [3, 4].

При нагріванні бетону в інтервалі температур 100-300⁰С внаслідок виділення вільної та частково кристалохімічної вологи проходить збільшення пористості та міцності. Подальше нагрівання до 600⁰С через дегідратацію водовмісних сполук клінкерних мінералів з утворенням значної кількості тріщин призводить до значного зменшення міцності [5, 6]. Нагрівання бетону в інтервалі температур 600-1200⁰С внаслідок повного руйнування кристалогідратної структури цементного каменю з утворенням великої кількості мікродфектів цементного каркасу веде до сильного падіння міцності через збільшення граничних деформацій стиску. Вказані процеси та їх інтенсивність залежить, в основному, від виду в'язучого та мінеральних добавок, які вводять при виготовленні цементу.

Мета роботи полягає у встановленні впливу виду в'язучого бетону на міцнісні характеристики в умовах пожежі.

Результати досліджень. Для отримання бетонних зразків розміром 100×100×100 мм використано у якості в'язучого звичайний портландцемент ПЦ І-500, шлакопортландцемент ПЦ ІІ/А-ІІІ-500 та композиційний портландцемент КЦ V/A (ДСТУ Б.В.2.7-46-96).

Як дрібний заповнювач використано пісок Ясинецького родовища, з модулем крупності – $M_{кр}=1,12$ (ДСТУ Б.В.2.7-32-95), а як крупний – щебінь Томашгорського родовища фракції 5-20 мм (ДСТУ Б.В.2.7-74-98). Запропонований клас бетону за міцністю становив С 25/30.

Відомо [2, 6], що при твердненні бетону утворюються водовмісні сполуки клінкерних мінералів та добавок до цементу. Їх масова доля в складі бетону залежить від виду цементу, що в свою чергу сильно впливає на поведінку бетону в умовах високих температур пожежі.

Особливості процесів гідратації модифікованих композиційних портландцементів, одержаних добором оптимального співвідношення активних мінеральних та хімічних добавок, досліджуються методами фізико-хімічного аналізу. Як видно з рис. 1, негідратований портландцемент характеризується лініями алітової та білітової фаз ($d/n=0,277$; $0,260$; $0,218$ нм). Під час гідратації портландцементу без добавок через 28 діб на дифрактограмах фіксуються лінії кристалогідратів: кальцію гідроксиду ($d/n=0,493$; $0,263$ нм) та еtringіту ($d/n=0,973$; $0,561$ нм).

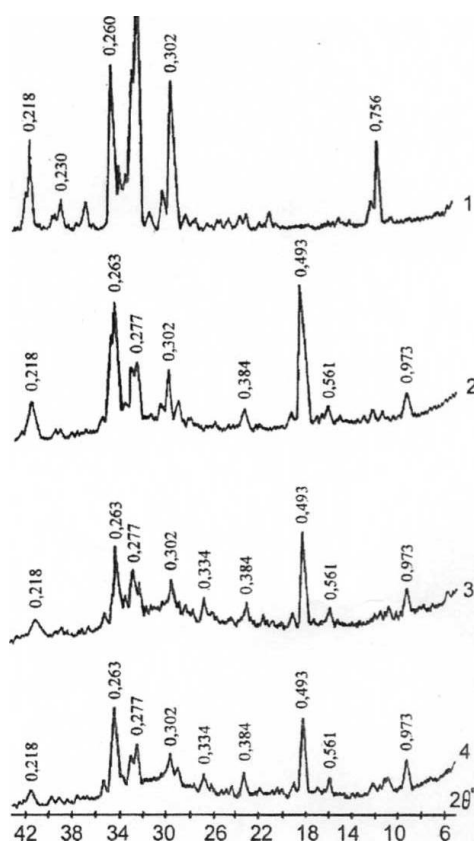


Рисунок 1 – Дифрактограми каменю на основі цементу гідратованого 28 діб: 1 – не гідратований; 2 – гідратований ПЦ І-500; 3 – гідратований ПЦ ІІ/А-ІІІ-500; 4 – гідратований КЦ V/A

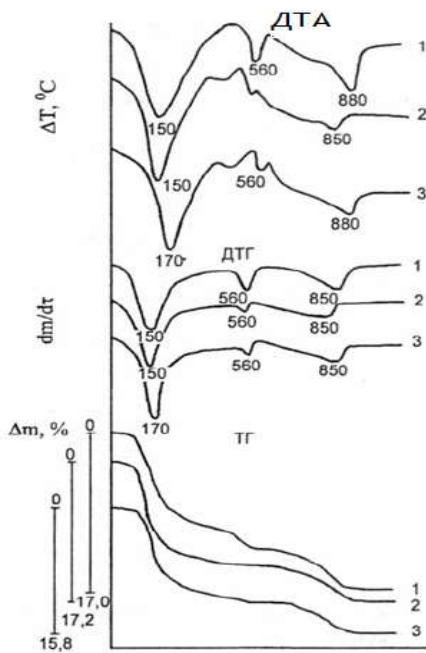


Рисунок 2 – Дериватограми каменю на основі цементу, гідратованого 28 діб:
 1 – ПЦ I-500; 2 – ПЦ II/A-Ш-500; 3 – КЦ V/A

Співвідношення та властивості цих складових безпосередньо впливають на фізико-механічні властивості цементного каменю. Кристалічний скелет гідросульфоалюмінату кальцію відіграє армувальну роль в цементному камені і сприяє утворенню міцних зв'язків між частинками золи винесення та продуктами гідратації цементу, підвищує щільність та механічну міцність цементного каменю.

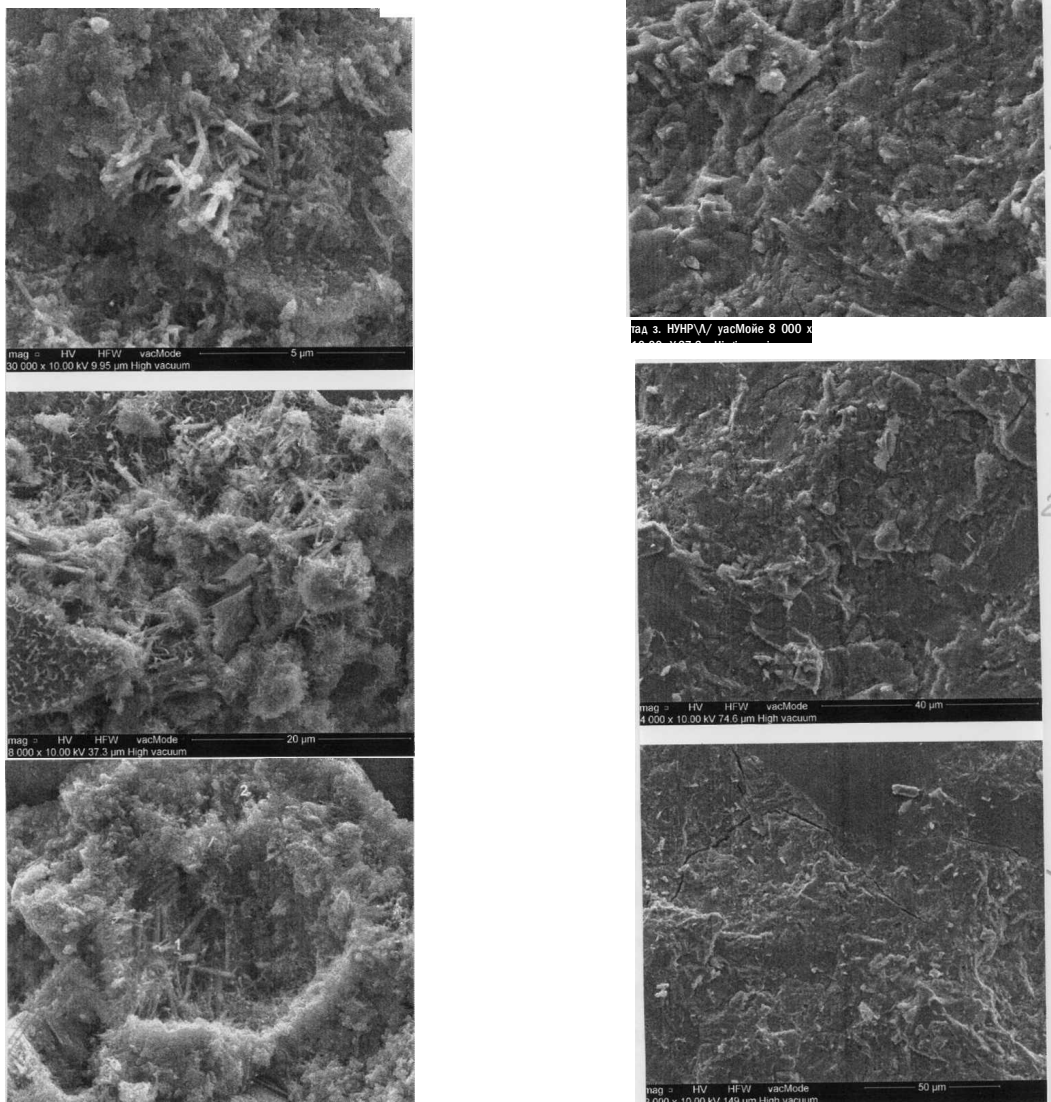
Метод растрової електронної мікроскопії доповнює дані про формування структури цементного каменю. Мікроструктура каменю звичайного портландцементу без добавок характеризується гетерогенністю (рис. 3). На поверхні спостерігається незначна кількість желеподібних продуктів гідратації поряд з добре закристалізованими гідратними фазами. Структура каменю на основі цементу з мінеральними добавками є щільнішою, однорідною та містить більшу кількість желеподібної маси завдяки введенню золи винесення (рис. 3. б). В окремих місцях спостерігаються пластинчасті кристали портландиту. Використання хімічних добавок призводить до виникнення більшої кількості центрів кристалізації. У затверділій цементній системі утворюється кристалічний зросток та желеподібна маса, що його наповнює.

Отже, в камені модифікованого композиційного цементу завдяки встановленню оптимального співвідношення активних мінеральних та полі функціональних хімічних добавок проходить стабілізація та модифікування AF_m - та AF_t -фаз, котрі вважаються структурно-активними компонентами цементного каменю. Тому деструктивні процеси, пов'язані з розкладом та перекристалізацією гексагональних гідроалюмінатів кальцію, при цьому проходять значно меншою мірою і камінь на основі модифікованого композиційного цементу характеризується стабільнішими будівельно-технічними властивостями.

При нагріванні цементного каменю до $500^{\circ}C$ у його структурі зникають голчасті кристали еtringіту та пластинчасті – портландиту, що підтверджує проходження деструктивних процесів (рис. 3.2). Підвищення температури нагрівання до $1000^{\circ}C$ (рис.3.3) призводить до значної зміни мікроструктури, особливо для каменю на основі ПЦ I-500. При цьому значно зростає пористість, а окремі частинки практично не зв'язані між собою, що підтверджує втрату міцнісних показників. У цементного каменю на основі композиційного цементу завдяки наявності у його складі доменного шлаку та золи структура більш однорідна і зв'язана між собою, що очевидно є наслідком спікання окремих складових деструктизованого каменю легкоплавкою склоподібною фазою.

Проте через 28 діб тверднення інтенсивність ліній $Ca(OH)_2$ ($d/n=0,493$; $0,263$ нм) для КЦ V/A зменшується, що є результатом активізації процесів його взаємодії зі складовими активних мінеральних добавок з утворенням додаткової кількості CSH-фаз, а надалі також гідрогеленіту та змішаних лужно-лужноземельних гідроалюмосилікатів у мінеральній не клінкерній частині цементного каменю.

Процеси деструкції цементного каменю у процесі нагрівання вивчено за допомогою термічного аналізу (рис. 2). Встановлено, що на кривій ДТА цементів, гідратованих 28 діб, проявляються ендотермічні ефекти при 150 , 170 і $560^{\circ}C$, які відповідають розкладу CSH-фаз, гідросульфоалюмінатів кальцію та кальцію гідроксиду. На кривій ДТА також проявляється ендоефект при $850^{\circ}C$, який відповідає розкладу кальцію карбонату. За даними термогравіметрії (ТГ) загальні втрати маси під час прожарювання для цементу без добавок становлять $17,0$ мас.%. Для композиційного цементу втрати під час прожарювання становлять $17,2$ мас.%, тоді як загальні втрати маси для шлакопортландцементу зменшуються до $15,8$ мас.%, а кількість кальцію гідроксиду – на 35% (у перерахунку на CaO) порівняно з цементом без добавок типу ПЦ I через прискорення реакцій зв'язування кальцію гідроксиду складовими активних мінеральних добавок у гідросульфоалюмінатні фази та низько основні гідросилікати кальцію типу C-S-H (1).



а

б

Рисунок 3 – Зміна мікроструктури цементного каменю на основі ПЦ I-500 (а) та КЦ V/A (б) у процесі нагрівання: 1 – 20⁰С; 2 – 500⁰С; 3 – 1000⁰С

Вивчено вплив виду в’язучого бетону на його механічні властивості при нагріванні.

Встановлено (табл. 1), що при кімнатній температурі руйнівне навантаження знаходиться в межах 395-430 кН, що відповідає марці бетону М40. Підвищення температури нагрівання бетонних кубів до 500⁰С призводить до зменшення руйнівного навантаження на 40% для бетону на основі звичайного портландцементу.

Таблиця 1

Вплив температури нагрівання та виду в’язучого на руйнівне навантаження бетону при стиску

Бетон на в’язучому	Температура нагрівання, ⁰ С		
	20	500	1000
	Руйнівне навантаження, кН		
ПЦ I-500	405	255	52
ПЦ II/A-III-500	395	290	63
КЦ V/A	430	320	86

Для бетонів на основі шлакопортландцементу та композиційного цементу зменшення руйнівного навантаження становить близько 25%.

При нагріванні бетону до 1000⁰С проходить значне зниження руйнівного навантаження для всіх досліджуваних зразків. Але, необхідно відзначити, що залишкова міцність бетону на композиційному в'язучому на 2,4 МПа вища, порівняно з міцністю на звичайному портландцементі. При цьому спад міцності для бетону на композиційному в'язучому становить 80%, а для портландцементу – 88%.

Досліджено вплив виду в'язучого бетону на його деформативні властивості залежно від температури нагрівання (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність модуля пружності бетону від виду в'язучого та температури нагрівання

Бетон на в'язучому	Температура нагрівання, ⁰ С		
	20	500	1000
Модуль пружності, Е·10 ⁴ , МПа			
ПЦ I-500	2,2	0,31	0,09
ПЦ II/A-III-500	2,0	0,32	0,12
КЦ V/A	2,1	0,35	0,18

Встановлено, що інтенсивне зменшення модуля пружності бетону та його міцності проходить при нагріванні в інтервалі температур 360-500⁰С, що зв'язано з процесами дегідратації складових цементного каменю. Нагрівання до 1000⁰С також призводить до зменшення модуля пружності, але при використанні композиційного цементу його показник у 2 рази вищий, порівняно з бетоном на звичайному портландцементі.

Висновки. Встановлено, що на процесі деструкції цементного каменю при нагріванні впливає вид в'язучого, який формує міцнісні характеристики бетону. Експериментально доведено, що при нагріванні бетону вище від 500⁰С проходить деструкція гідратних складових цементного каменю з руйнуванням структурних зв'язків між окремими частинками із значним зниженням міцнісних характеристик.

Показано, що використання композиційного цементу, як в'язучого бетону, завдяки наявності у його складі доменного шлаку та золи підвищує залишкову міцність при нагріванні до 1000⁰С на 2,4 МПа, а модуль пружності – у 2 рази.

Список літератури

1. Самченко С.В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов / С.В. Самченко. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2005. – 154 с.
2. Саницкий М.А. Влияние кристаллохимических особенностей твердых фаз на процессы их гидратации и свойства цементного камня / М.А. Саницкий // II Международное совещание по химии и технологии цемента. – М.: П-Центр, 2000. – Т 2. – с. 61-67.
3. Кошмаров Ю.А. Новые методы расчета огнестойкости и огнезащиты зданий и сооружений / А.Ю. Кошмаров // Пожарная безопасность. – 2002. – №2. – с. 91-98.
4. Поздеев С.В. Обгрунтування вибору режимів нагрівання зразків для експериментально-розрахункового методу визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій / С.В. Поздеев, О.В. Некора, А.В. Поздеев // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львов: ЛДУБЖД. – 2006. – №9. – с. 125-132.
5. Мосалков И.Л. Огнестойкость строительных конструкций / И.Л. Мосалков, Т.Ф. Плюснина, А.Ю. Фролов. – М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. – 496 с.
6. Саницкий М.А. Модифіковані композиційні цементы / М.А. Саницкий, Х.С. Соболев, Т.Є. Марків // Львів, НУ «Львівська політехніка». – Львів: «НУЛП». – 2001. – 130 с.
7. Давыдкин Н.Ф. Оценка огнестойкости зданий и сооружений на основе компьютерного моделирования / Н.Ф. Давыдкин, В.О. Каледин, В.Л. Страхов // Механическое моделирование. – М. – 2000. – с. 27-32.

References

1. Samchenko S. V. The role of etrynhits in formation of structure's genesis of stones of special cements / S. V. Samchenko. – M. RChTU named after D. I. Mendeleev, 2005. – p. 154.
2. Sanytskyi M. A. The impact of crystal-chemical features of solid phaseon process of their hydration and characteristics of cement's stones / M. A. Sanytskyi // The second International meeting on the chemistry and technology of cement. – M.: P – Centre, 2000. – T 2. – p. 61-67.
3. Koshmarov U. A. New methods of counting fire protecting of buildings and constructions / A. Y. Koshmarov // Fire protecting. – 2002. – №2. – p. 91-98.
4. Pozdeev S. V. Explanation of choice of heating mode of samples for experimental counting method of defining of fire resistance of reinforced concretebuilding constructions. / S. V. Pozdeev, O. V. Nekora, A. V. Pozdeev // Fire protection : collection of Scientific Papers. – L'viv: LDUBDzD. – 2006. – №9. – p.125-132.
5. Mosalkov I. L. Fire resistance of building constructions / I. L. Mosalkov, T. F. Plyusnyna, A. F. Frolov. – M.: ZAO “Special Technic”, 2001. – p. 496.
6. Sanytskyi M. A. Modified compositing cements / M. A. Sanytskyi, Ch. S. Sobol', T. Ye. Markiv // L'viv, N. U. “Lvivska Politechnika”. – L'viv: “NULP”. – 2001. – p. 130.
7. Davydkin N. F. The estimation of fire resistance of building and constructions on basis of computer modeling / N. F. Davydkin, V. O. Kaledyn, V. L. Strachov // Mechanic modeling. – M. – 2000. – p. 27-32.

