

УДК 614.841.33

Л.Б. ДЕМИДЧУК, Д.І. САПОЖНИК
Львівський торговельно-економічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ТЕМПЕРАТУРО- ТА ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОМ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

В роботі досліджено питання щодо можливості підвищення температуро- та вогнестійкості залізобетонних конструкцій шляхом поверхневого оброблення захисними покриттями, закономірності процесів формування структуроутворюючого каркасу силіційорганічних сполук на основі наповнених поліметилфенілсилоксанів та можливості розроблення ефективних методів їх використання з врахуванням рецептур вихідних композицій для температуро- і вогнестійких захисних покриттів будівельних конструкційних матеріалів та визначено умови формування вогнезахисного покриття на поверхні залізобетонних конструкцій. Запропоновано склади вихідних композицій для захисних покриттів та вивчено їх вплив на вогнестійкість та довговічність залізобетонних конструкцій в умовах високотемпературного нагрівання та пожежі.

Ключові слова: температуро- та вогнестійкість покриття, вихідна композиція, залізобетонна конструкція вогнестійкість.

L.B. DEMYDCHUK, D.I. SAPOZHNIK
Lviv University of Trade and Economics

INCREASE OF TEMPERATURE AND FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY SURFACE TREATMENT WITH PROTECTIVE COATINGS

The problem of the possibility of increasing the temperature and fire resistance of reinforced concrete structures by surface treatment with protective coatings, regularities of the processes of formation of the structure-forming framework of organosilicon compounds on the basis of the filled polymethylphenylsiloxanes and the possibility of developing effective materials and the conditions for the formation of fire protection coating on the surface of reinforced concrete structures have been determined. The composition of the initial compositions for protective coatings was proposed and their influence on fire resistance and durability of reinforced concrete structures in conditions of high temperature heating and fire was studied.

Keywords: temperature and fire resistance of coating, initial composition reinforced concrete fire resistance.

Постановка проблеми

Нормативними документами України (ДБН В.1.1.7–2016) [1] встановлено, що межа вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій визначається розрахунковим методом або шляхом вогневих випробувань та повинна складати не менше 45 хв. З урахуванням сучасних технологій будівництва, а саме зменшення перерізу основних будівельних залізобетонних конструкцій, для забезпечення необхідної межі вогнестійкості доцільно використовувати вогнезахисні покриття.

В реальних умовах експлуатації залізобетонні конструкції піддаються комплексній дії агресивних факторів, які у значній мірі підсилюються в умовах високих температур та вогню. Головним фактором, який впливає на залізобетонні конструкції при дії вказаних факторів є втрата міцнісних характеристик і як результат – руйнування.

Підвищити вогнестійкість залізобетонних конструкцій можливо шляхом їх поверхневої модифікації захисними матеріалами різної хімічної природи.

Розроблені на даний час склади покриттів не забезпечують необхідного захисту таких будівельних конструкцій в експериментальних умовах пожежі [3, 4]. Тому, підвищити вогнестійкість залізобетонних конструкцій можливо шляхом нанесення на їх поверхню наповнених вогнетривкими компонентами полісилоксанів, які володіють високими термостабільними властивостями в широкому інтервалі температур. В умовах дії високих температур при пожежі на вогнестійкість захищених залізобетонних конструкцій впливає фазовий склад покриття за рахунок значної різниці термомеханічних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Поліфункціональні захисні покриття на основі наповнених полісилоксанових композицій технологічні та можуть використовуватися для підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкційних матеріалів внаслідок високих термомеханічних властивостей, які визначаються стабільним структурним та фазовим складом [2, 3]. Але, внаслідок гетерофазової будови та дії високих температур пожежі значний вплив на формування захисного теплоізоляційного шару мають процеси на межі контакту «покриття – бетон» [3, 5].

Разом з тим, вирішення питання впливу способу нанесення захисного покриття на поверхню залізобетону, його товщини, температури пожежі та складу вихідної композиції на вогнестійкість обробленого матеріалу залишається актуальним.

Формулювання цілі статті

Метою дослідження було дослідження впливу захисного покриття на основі наповненого оксидними компонентами полісилоксану на температуро- та вогнестійкість залізобетонних конструкцій.

Базовий склад вихідних композицій для вогнезахисних покриттів (табл. 1) обрано за допомогою методу математичного планування експерименту.

Таблиця 1

Склади вихідних композицій для захисних покриттів

№ складу покриття	Вміст компонентів, мас. %					
	KO-08	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Каолін	Каолінове волокно	Шамотний бій
1	20	40	35	-	5,0	-
2	40	20	38	-	2,0	-
3	25	40	10	20	5,0	-
4	35	35	18	10	2,0	-
5	30	30	22	12,5	3,5	2,0
6	35	25	25	10	2,0	3,0

Агрегативностійкі композиції із рівновисокою однорідністю отримано шляхом сумісного механо-хімічного диспергування компонентів у кульових млинах за рахунок процесів руйнування кристалічної ґратки оксидного наповнювача та добавки, фізичної адсорбції та прививання фрагментів полісилоксанового плівкоутворювача до поверхні наповнювача. Методом ІЧ-спектроскопії визначено оптимальний термін диспергування (100–125 год) та масу привитого полімеру (5,7–6,3 мас. %).

Проведені та опубліковані експериментальні дослідження показали, що текучість вихідної композиції залежить тільки від вмісту плівкоутворювача (20–26 сек.) а сухий залишок складає 75–85 мас.%. Міцність на згин розроблених складів покриттів 1–2 мм та залежить тільки від вмісту наповнювача. Міцність на удар є лише функцією складу вихідної композиції та змінюється в межах 4,0–5,0 Дж [6].

Експлуатаційні властивості захисних покриттів (адгезійна міцність, суцільність, вогнестійкість, тощо) значною мірою залежать від технологічного режиму їх нанесення на поверхню бетону та умов затвердіння. Попередніми дослідженнями [3, 5, 6] встановлено, що після нанесення вихідної композиції для захисного покриття на поверхню бетону проходить випаровування органічного розчинника з повною полімеризацією полісилоксанового плівкоутворювача з утворенням міцного захисного шару. При цьому полісилоксан виконує роль матриці, дисперсійною фазою є частинки алюмінію, цирконію оксидів, шамотний бій, каолін та каолінове волокна. Залежно від складу вихідної композиції, мікротвердість утвореного захисного покриття на поверхні бетону, що є критерієм ступеня затвердіння, змінюється у широких межах.

Вивчено вплив умов затвердіння захисного покриття на його мікротвердість за режимами:

- витримане 2 години при температурі 353 К;
- витримане 1 година при температурі 423 К;
- витримане 0,1 години при температурі 473 К;
- витримане 24 години при температурі 293 К.

Результати досліджень наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Зміна мікротвердості захисних покриттів в залежності від режиму затвердіння

№ складу покриття	Мікротвердість в залежності від режиму затвердіння, МПа,			
	1	2	3	4
1	264,5	289,3	271,7	243,2
2	263,4	278,9	269,8	231,7
3	247,3	271,3	260,4	225,3
4	252,7	275,7	263,2	233,5
5	250,4	270,2	259,3	229,1
6	262,5	282,3	265,9	242,3

Експериментально встановлено, що найвищі показники мікротвердості (271,3–289,3 МПа) захисного покриття отримано за 2 режимом затвердіння. При цьому воно корелюється з вмістом наповнювача та залежить від масової частки каоліну. Мінімальні показники мікротвердості (225,3–243,2 МПа) характерні для захисних покриттів, які затвердівали за 4 режимом. Із врахуванням технологічних умов затвердіння та енергоощадливості, задовільних показників мікротвердості, для отримання захисних покриттів доцільно використати достатньо простий режим, а саме – 24 години при кімнатній температурі (293 К).

Нанесення вихідних композицій для захисних покриттів проводили за допомогою пульверизатора на попередньо очищену від пилу та висушену до вологості не вище 3 мас.% поверхню бетону. Товщина захисного покриття складала 0,4–0,6 мм.

Методами фізико-хімічного аналізу встановлено, що у процесі нагрівання за рахунок термоокисної деструкції полісилоксанового плівкоутворювача утворюються газоподібні продукти, що призводять до спучування покриття з утворенням теплоізоляційного захисного шару, характер якого залежить від товщини вихідного покриття, температури та градієнта нагрівання.

Встановлена залежність коефіцієнта спучення захисного покриття від товщини, швидкості та температури нагрівання (табл. 3), що вказує на його показники у широких межах.

Таблиця 3

Залежність коефіцієнта спучення покриття від товщини та швидкості температури нагрівання

№ складу покриття	Товщина покриття, мкм	Коефіцієнт спучення (Ксп) при температурі нагрівання (К)											
		573			673			773			873		
		Швидкість зростання температури (град/хв.)											
		20	60	120	20	60	120	20	60	120	20	60	120
2	400	1,14	1,82	3,12	2,87	5,14	6,21	3,02	7,12	8,14	3,07	8,12	10,41
	600	1,57	2,03	3,81	3,02	6,02	7,01	3,51	8,03	9,12	3,82	9,14	11,07
	800	1,92	2,87	4,03	3,41	7,93	8,14	3,91	9,02	10,14	4,03	10,10	11,97
5	400	1,16	1,91	3,08	2,91	5,27	6,31	3,09	7,51	8,27	3,12	8,47	10,37
	600	1,61	2,09	3,78	2,98	5,19	6,37	3,62	8,12	9,21	3,91	9,07	10,93
	800	2,01	2,17	4,18	3,31	7,12	8,21	4,01	8,93	10,02	3,98	10,12	11,37
6	400	1,21	2,01	3,17	3,01	5,21	6,37	3,87	7,14	8,93	3,93	8,53	10,87
	600	1,57	2,12	4,01	3,17	5,91	7,17	3,91	7,97	9,91	4,17	9,85	11,43
	800	2,07	2,37	4,33	3,53	6,95	8,29	4,02	8,91	10,14	4,83	10,19	11,87

Так, при нагріванні до температури 573 К коефіцієнт спучення залежить від товщини і швидкості нагрівання. Збільшення товщини покриття приводить до зростання коефіцієнта спучення у 3–3,3 разу, а підвищення показника швидкості нагрівання – у 1,35–1,9 разів, що залежить від товщини покриття.

Слід відзначити, що збільшення товщини покриття менш суттєво впливає на коефіцієнт спучення. Підвищення температури нагрівання до 873 К веде до значного зростання коефіцієнта спучення, особливо при нагріванні із швидкістю 120 град/хв., а підвищення температури нагрівання до 873 К частково збільшує коефіцієнт спучення для покриттів із різним значенням товщини.

Максимальне значення коефіцієнта спучення (11,97 та 11,87) характерне для покриттів складів № 1 та № 5 при їх товщині 800 мкм та швидкості нагрівання 120 град/хв. Нагрівання захисних покриттів вище від температури 873 К призводить до незначного зменшення коефіцієнта спучення внаслідок спікання покриттів та утворення більш щільної структури.

Вивчено вплив товщини захисного покриття на показник загальної пористості у період термоокисної деструкції полісилоксанового плівкоутворювача (в інтервалі температур 573–873 К). Встановлено (рис. 1 а), що збільшення показника загальної пористості на 6 – 16 % проходить при нагріванні до температури 573 К при товщині захисного покриття 400–600 мкм.

Для захисного покриття товщиною 600 мкм визначена залежність показника загальної пористості від температури нагрівання (рис. 1 б).

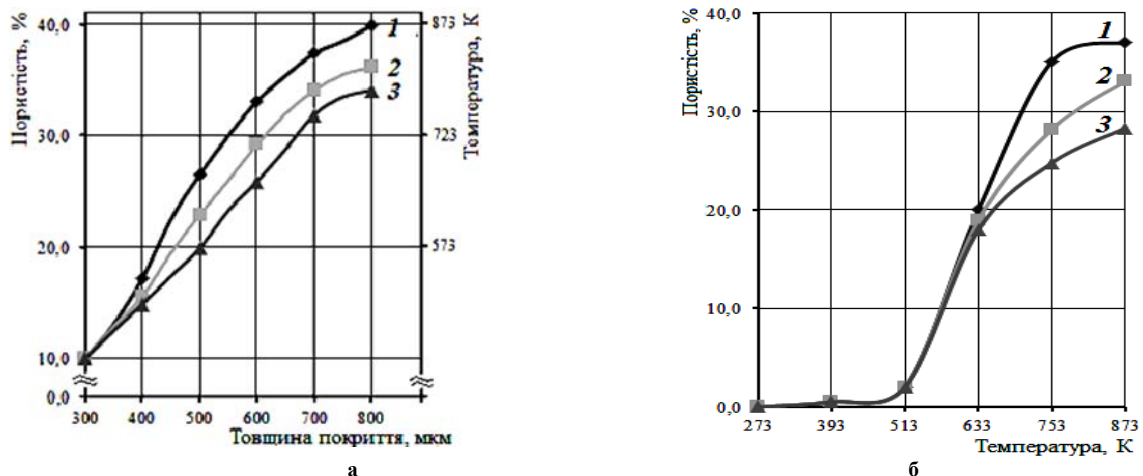


Рис. 1. Залежність показника загальної пористості захисного покриття від товщини (а) та від температури нагрівання (б): 1 – склад № 2; 2 – склад № 5; 3 – склад № 6

При нагріванні покриття до температури 513 К показник загальної пористості складає 2 % за рахунок випаровування залишків розчинника. Зростання кривих залежності показника пористості при нагріванні вище від температури 623 К проходить за рахунок процесів термоокисної деструкції полісилоксану. Максимальне значення загальної пористості знаходиться при нагріванні до температури 753 К (максимум процесу деструкції). Слід відзначити, що мінімальне значення загальної пористості (28,3) має покриття складу № 6.

Підвищення температури нагрівання вище від 753 К веде до зменшення показника пористості внаслідок перебігу процесів взаємодії між компонентами із утворенням нових силікатних фаз, які

ущільнюють структуру матеріалу за рахунок спікання.

Ефективність вогнезахисту залізобетонних конструкцій визначили у вогневій печі згідно з СТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання. (Дата введення в дію: 01.10.2011) (табл. 4).

Таблиця 4

Межа вогнестійкості залізобетонних зразків за втратою теплоізоляційної здатності

	№ складу покриття						Без покриття
	1	2	3	4	5	6	
Межа вогнестійкості, хв.	108	115	126	122	120	112	60

Отримані результати підтверджують доцільність використання розроблених складів захисних покриттів на основі наповненого оксидними та силікатними компонентами полісилоксану для підвищення у 1,8–2,1 рази межі вогнестійкості залізобетонних конструкцій за втратою теплоізоляційної здатності.

Висновок

Експериментально встановлено оптимальний режим затвердіння захисного покриття, на поверхні бетону, яке досягається при нагріванні до температури 473 К або при витримуванні при кімнатній температурі протягом 24 год. Пористість захисного шару залежить від температури нагрівання, товщини покриття та швидкості підняття температури. Доведено, що при збільшенні товщини покриття від 300 до 800 мкм за рахунок його спучення показник пористості зростає у 5,0–7,5 рази, а при підвищенні градієнта температур від 20 до 60 град/хв – у 8,2–9,4 рази.

Доведено ефективність вогнезахисту залізобетонних конструкцій розробленими складами захисних покриттів. При їх використанні межа вогнестійкості залізобетонних конструкцій за теплоізоляційною здатністю зростає у 1,8–2,1 рази.

Література

1. ДБН В.1.1.7–2016. Державні будівельні норми України. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – [На заміну ДБН В.1.1.7 2002, чинний з 1 червня 2017 р.] [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.mil.gov.ua/content/other/TO_tkanuna_watermark.pdf.
2. Литовченко С. В. Повышение стабильности многофазных силицидных покрытий на молибдене / С. В. Литовченко, Т. С. Маслова, В. Г. Кириченко и др. // Вісн. НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – № 52. – С. 94–98.
3. Лукин Е. С. Современная высокоплотная оксидная керамика с регулируемой микроструктурой / Е. С. Лукин // Огнеупоры и техническая керамика. – 1996. – № 4. – С. 2–13.
4. Aguilar-Santillan Joaguin. Mechanical activation of the decomposition and sintering of kyanite / Joaguin Aguilar-Santillan, Ricardo Cuenca-Alvarez, Heberto Balmori-Ramires // J. Amer. Ceram. Soc. – 2002. – № 10. – P. 2425–2431.
5. Пащенко А. А. Полифункциональные элементоорганические покрытия / Пащенко А. А. – К. : Вища школа, 1987. – 198 с.
6. Демидчук Л. Б. Органосилікатні температуростійкі покриття для будівельних матеріалів / Л. Б. Демидчук, М. М. Гивлюд, І. В. Маргаль // Вісник Хмельницького Національного університету / науковий журнал, технічні науки. – Хмельницький, 2012. – № 1. – С. 92–96.

References

1. DBN V.1.1.7–2016. Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy. Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva. – Na zminu DBN V.1.1.7 2002, chynnyy z 1 chervnya 2017 r. URL: http://www.mil.gov.ua/content/other/TO_tkanuna_watermark.pdf.
2. Lytovchenko S. V. Povy'shenye stably'nosti mnohofazny'kh slytyzny'kh pokry'tyya na molybdene / S. V. Lytovchenko, T. S. Maslova, V. H. Kyrychenko y dr. // Visn. NTU «KhPI». – Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. – No 52. – pp. 94-98.
3. Lukyn E. S. Sovremennaya vysokoplotnaya oksydnaia keramyka s reghulyruemoy mikrostrukturoy / E. S. Lukyn // Oheupory y tekhnicheskaya keramyka. – 1996. – # 4. – S. 2-13.
4. Aguilar-Santillan Joaguin. Mechanical activation of the decomposition and sintering of kyanite / Joaguin Aguilar-Santillan, Ricardo Cuenca-Alvarez, Heberto Balmori-Ramires // J. Amer. Ceram. Soc. – 2002. – No 10. – pp. 2425-2431.
5. Pashchenko A. A. Polyfunktional'nyye elementoorhanycheskye pokrytyya. – K.: Vyshcha shkola, 1987. – 198 s.
6. Demydchuk L. B. Orhanosylkatni temperaturostiyki pokryttya dlya budivel'nykh materialiv / L. B. Demydchuk, M. M. Hyvlyud, I. V. Marhal' // Herald of Khmelnytsky National University / naukovyy zhurnal, tekhnichni nauky. – Khmel'nyts'ky, 2012. – No. 1 – pp. 92 – 96.

Рецензія/Peer review : 19.08.17 р. Надрукована/Printed :20.08.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Пелик Л.В.