

М. М. Гивлюд, д.т.н., професор (Національний університет «Львівська політехніка»), Ю. В. Гуцуляк, к.т.н., доцент, С. Я. Вовк, В. В. Корнійчук (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНОГО ПОЛІМЕТИЛФЕНІЛСИЛОКСАНУ

У статті проаналізовано покриття, які на сьогодні застосовують для вогнезахисту металевих конструкцій та запропоновано покриття для вогнезахисту конструкцій із алюмінієвих сплавів. Наведено результати досліджень впливу розробленого покриття на час прогріву конструкцій з алюмінієвих сплавів до критичної температури в умовах нагрівання за стандартним температурним режимом. Встановлено, що розроблений склад покриття характеризується високими захисними теплоізоляційними властивостями, має хороші адгезійні характеристики в умовах підвищених температур (до 600 °С), і може бути використаний для підвищення вогнестійкості та довговічності алюмінієвих сплавів, які перебувають в умовах високих температур та дії вогню.

Ключові слова: покриття, вогнезахист, поліметилфенілсилоксан, межа вогнестійкості.

Постановка проблеми. Метали є неспалимими матеріалами, але мають високу теплопровідність та достатньо великий коефіцієнт лінійного розширення, що обумовлює значні деформації при нагріві і, як наслідок, малу межу вогнестійкості. Металеві конструкції в умовах пожежі внаслідок значної теплопровідності та малої теплоємності швидко прогріваються до критичних температур, що викликає їх руйнування. Переважно такі руйнування не обмежуються місцем виникнення пожежі, а поширюються на значні площі, що підсилює негативні наслідки пожежі. Особливо небезпечні умови для металевих конструкцій виникають тоді, коли вони знаходяться в комбінації з горючими матеріалами.

Високотемпературний і вогневий захист конструкцій з металів та їх сплавів полягає у створенні на їх поверхні щільних покриттів із низькою теплопровідністю, які здатні витримувати високі температури.

Такі покриття сповільнюють прогрівання металів та сплавів і розвиток температурних деформацій, що значно збільшує реальну межу вогнестійкості та зберігає їх експлуатаційні властивості за дії високих температур протягом заданого часу.

Найпростіші високотемпературні і вогнезахисті засоби на основі неорганічних в'язучих матеріалів містять у своєму складі зв'язану воду, яка під час нагрівання випаровується і блокує перенос тепла до захищеної поверхні. В якості зв'язки використовують натрієве рідке скло, портландцемент, глиноземистий цемент, фосфатні і алюмосилікатні в'язучі. Однак, такі покриття є недовговічними та високовартісними, а також не забезпечують достатньої адгезійної міцності і

їх не можна використовувати для вогнезахисту будівельних конструкцій з алюмінієвих сплавів, оскільки вони мають великий температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР).

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що на даний час перспективними є покриття на основі силіційорганічних зв'язок [1-2].

Відомо [3], що у процесі термоокисної деструкції проходять реакції окиснення органічних радикалів зв'язки, їх деполяризація та структуроутворення.

Основні переваги органосилікатних і органооксидних покриттів - еластичність, високі електроізоляційні, теплоізоляційні показники, високі вологостійкість, гідрофобність, адгезія, простота і загальна доступність технології їх нанесення та довговічність за температур нагрівання до 873 К. За вищих температур експлуатації проходить руйнування органічної складової, а покриття стає пористим, що значно погіршує його експлуатаційні властивості.

Мета роботи полягає у встановленні можливості одержання температуростійких захисних покриттів на основі наповненого поліметилфенілсилоксану з високою адгезійною міцністю, та визначення ефективності вогнезахисту розрахунковим та експериментальним методами.

Експериментальна частина. Поставлене завдання вирішується тим, що температуро-вогнезахисне покриття, яке включає алюмінію оксид та поліметилфенілсилоксановий лак у якості полісилоксану і додатково містить титану і хрому оксиди при такому співвідношенні мас. %: поліметилфенілсилоксановий лак (за сухим залишком) -30-40; алюмінію оксид (Al_2O_3) - 30-40; цирконію (IV) оксид (TiO_2) - 10-20; хрому оксид (Cr_2O_3) - 10-20.

Запропоновані склади покриттів [4,5] застосовують для захисту алюмінієвих сплавів при нагріванні до 600°C. До температури нагрівання 300°C захист проходить завдяки зшитому полімероксидному шару, вище кремнекисневого каркасу, що утворюється при термоокисній деструкції поліметилфенілсилоксану і який утримує температуро-вогнестійкі оксидні компоненти. Встановлено, що введення до складу покриття титану та хрому оксидів підвищує суцільність, адгезійну міцність і жаростійкість у температурному інтервалі 300 - 600°C [4,5].

Для отримання високотемпературного захисного покриття використовували такі матеріали: поліметилфенілсилоксановий лак (КО-08), ГОСТ 18508-90; алюмінію оксид, ГОСТ 30 569-98; титану оксид, ТУ У 14-10-0241-99; хрому оксид, ГОСТ 21793-87.

Результати досліджень. Для металевих конструкцій з вогнезахисними покриттями, що випробовуються без навантаження, граничним станом за ознакою втрати несучої здатності є перевищення середньої температури металевого елемента конструкції над його початковою температурою на 480°C для сталевих конструкцій та 230°C – для конструкцій з алюмінію [6].

Час прогріву конструкцій при стандартному температурному режимі до критичної температури залежить від приведеної товщини металу δ_{np} , а також товщини і теплофізичних

властивостей вогнезахисних покриттів.

Температуру навколишнього середовища визначали за стандартним температурним режимом:

$$t_{x,\tau} = 345 \lg(8\tau + 1) + t_0 \quad (1)$$

Рівномірний розподіл підвищення температури у поперечному перерізі захищеної запропонованим вогнезахисним покриттям алюмінієвої конструкції на проміжку часу $\Delta t = 30$ с., що зазнає вогневого впливу з усіх сторін визначали за формулою [7].

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{\lambda_p}{C_{al} \cdot \rho_{al} \cdot d_p} \frac{A_p}{V} \left[\frac{1}{1 + \varphi/3} \right] (\theta_{(t)} - \theta_{al(t)}) \Delta t - (e^{\varphi/10} - 1) \Delta\theta_{(t)}, \quad (2)$$

але при цьому має виконуватися умова $\Delta\theta_{al(t)} \geq 0$,

$$\varphi = \frac{C_p \rho_p}{C_{al} \rho_{al}} d_p \frac{A_p}{V}, \quad (3)$$

де: A_p / V - коефіцієнт перерізу для алюмінієвих конструкцій, що захищені вогнезахисним покриттям (m^{-1}); A_p - площа внутрішньої поверхні вогнезахисного покриття на одиницю довжини конструкції m^2/m ; C_{al} - питома теплоємність алюмінію; V - об'єм конструкції на одиницю довжини, m^3/m ; C_p - питома теплоємність вогнезахисного матеріалу, що не залежить від температури, Дж/кг К; d_p - товщина вогнезахисного матеріалу, м; Δt - інтервал часу, с; λ_p - теплопровідність вогнезахисного покриття, $Wm / (m \cdot K)$; ρ_p - густина вогнезахисного матеріалу kg/m^3 ; $\theta_{(t)}$ - температура навколишнього газу в момент часу t (°C).

Рівномірний розподіл підвищення температури за проміжок часу Δt в поперечному перерізі незахищеної алюмінієвої конструкції, що зазнає вогневого впливу з усіх сторін визначено за формулою [8]:

$$\Delta\theta_{al(t)} = k_{sh} \frac{1}{C_{al} \rho_{al}} \frac{A_m}{V} h_{net} \Delta t, \quad (4)$$

де: k_{sh} - поправковий коефіцієнт для впливу; A_m / V - умовний коефіцієнт поперечного перерізу затінення для незахищених алюмінієвих конструкцій (m^{-1}); h_{net} - розрахункове значення поглинутого теплового потоку одиницею площі.

Поправковий коефіцієнт впливу затінення визначається за формулою:

$$k_{sh} = 0,9 \frac{(A_m / V)b}{A_m / V} \leq 1,0. \quad (5)$$

Тепловий потік на поверхні конструкції, що обігривається ($W \cdot m^{-2}$), з врахуванням теплопередачі конвекційного випромінювання визначали за формулою:

$$h_{\text{net}} = h_{\text{net,c}} + h_{\text{net,r}} ; \quad (6)$$

де:

$$h_{\text{net,c}} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) , \quad (7)$$

$$h_{\text{net,r}} = \phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot ((\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4) ; \quad (8)$$

де: α_c - конвекційний коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); Θ_g - температура середовища, °С; Θ_m - температура поверхні конструкції °С; ϕ - кутовий коефіцієнт випромінювання; ε_m - ступінь чорноти поверхні конструкції; ε_f - ступінь чорноти полум'я; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт·м⁻²·К⁴ - стала Стефана – Больцмана; Θ_r - температура випромінювання пожежі, °С.

Час прогріву алюмінієвих зразків захищених розробленим покриттям визначали при таких вихідних параметрах: прогрів зразка здійснюється з чотирьох сторін; ширина зразків – 100мм, товщина – 5мм, 10мм, та 20мм; питома теплоємність покриття та алюмінію відповідно: $C_p = 540$ Дж/(м³·К) , $C_{al} = 896$ Дж/(м³·К) ; питома теплопровідність покриття та алюмінію відповідно: $\lambda = 0,01$ Вт/(м·К) , $\lambda = 110$ Вт/(м·К) ; густина покриття та алюмінію відповідно: $\rho_p = 500$ кг/м³ , $\rho_{Al} = 2700$ кг/м³.

З метою порівняння було визначено також час прогріву незахищеного зразка із такого ж алюмінієвого сплаву АМг6 шириною 100мм, та товщиною 5мм.

Результати розрахунків показані в табл. 1 та на графіку рис.1. Встановлено, що час прогріву незахищеного зразка становить близько 4 хв, що підтверджується літературними джерелами. Він значно менший, при однаковій його товщині, ніж у захищеного запропонованим покриттям (більше як у 3 рази).

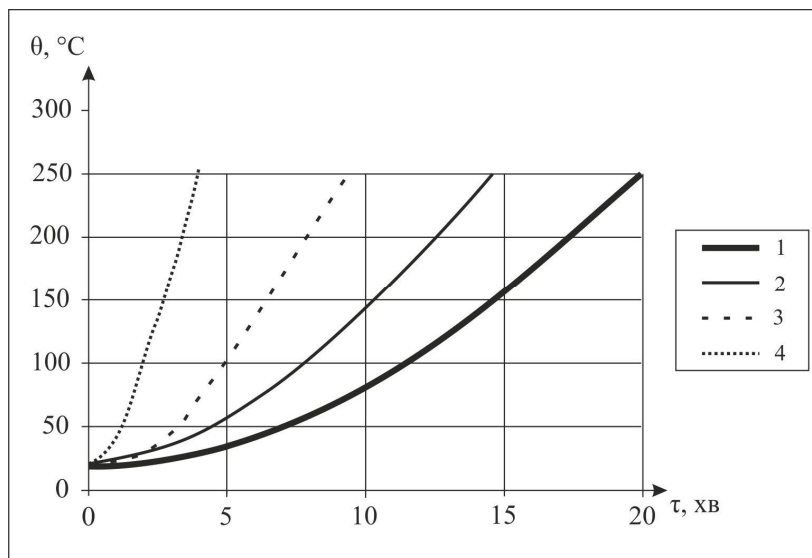


Рис.1 Розрахункова температура прогріву зразків із алюмінієвих сплавів АМг6:
 - захищених запропонованим покриттям, зразки 1, 2, 3
 товщиною $\delta = 20$ мм, $\delta_{зв} = 10$ мм, $\delta_{зв} = 5$ мм, та незахищеного зразка 4
 товщиною $\delta_{зв} = 5$ мм.

Суттєво впливає на час прогріву зразків до критичної температури (250 °С) і їхня товщина. Так, із збільшенням товщини з 5 мм, до 20мм час прогріву до критичної температури збільшується більше ніж в два рази.

Таблиця 1

Температура прогріву зразків з алюмінієвих сплавів АМг6

Час t, хв	Температура середовища за стандартним температурним режимом	Температура прогріву зразків, захищених запропонованим покриттям товщиною 0.6мм			Температура прогріву незахищених зразків
		Зведена товщина зразка $\delta=0,84$	Зведена товщина зразка $\delta=0,42$	Зведена товщина зразка $\delta=0,21$	
0	20	20	20	20	20
1	331	20,5	22,9	20,9	40
2	435	22,2	27,60	28,2	100
3	519	25,5	37,4	45	170
4	539	30,1	45,9	71	252
5	572	36,3	55,2	104	-
6	600	44,1	69,5	148	-
7	623	53,6	87	174,1	-
8	643	64,7	107,2	228	-
9	660	77,3	129,8	256	-
10	676	91,5	154,5	-	-
11	690	107,1	166,9	-	-
12	703	124	180,4	-	-
13	715	142	190,2	-	-
14	724	152	220,1	-	-
15	729	172	263,7	-	-
16	734	193	-	-	-
17	739	216	-	-	-
18	744	235	-	-	-
19	749	240,8	-	-	-
20	753	262,1	-	-	-

З метою перевірки отриманих розрахункових результатів були проведені експериментальні дослідження зразків оброблених запропонованими покриттями в муфельній печі, які показали хорошу збіжність теоретичних і експериментальних результатів, похибка не перевищувала 10%.

Висновок. Результати теоретичних та практичних досліджень доводять, що розроблений склад покриття характеризується високими захисними теплоізоляційними властивостями, має хороші адгезійні характеристики в інтервалі температур до 600 °С, та може бути використаний для підвищення вогнестійкості та довговічності алюмінієвих сплавів, які працюють в умовах високих температур та дії вогню.

Список літератури :

1. Кротиков В. А. Эффективность применения элементоорганических соединений в технологии керамики и огнеупоров: матер. работ 2 съезда Рос. керам. общества В. А. Кротиков. Санкт-Петербург, 2000. - С. 38.
2. Процеси взаємодії між компонентами захисних покриттів на основі системи $AbOs-ZrCb-SiCb$ / Ємченко І. В., Гивлюд М. М., Артеменко В. В., Передрій О. І. // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. 36. наук, праць.-Вип. 10.- Львів; Каменяр, 2008,- С. 31-39
3. Гивлюд М. М. Дослідження впливу фазового складу на термо- і жаростійкість наповнених силіційелементорганічних захисних покриттів / М. М. Гивлюд, І. В. Ємченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2007. - № 4 (56). -С. 115-120.
4. Температуростійкі силікатні захисні покриття для металів та сплавів на основі наповненого поліметилфенілсилоксану / Гивлюд М. М., Ємченко І.В., Козак С. І., Вовк С. Я. // Збірник наукових праць: ВАТ «УкрНДІ Вогнетривів імені А. С. Бережного»: – Харків-2010. – С.391-398.
5. Температуро-вогнезахисне покриття. Патент №66851 Україна, МПК (2011), C09K21/00. /Гивлюд М. М., Вовк С. Я., Гуцуляк Ю. В., Башинський О. І.; заявник і патентовласник Львівський держ. у-т безпеки життєдіяльності. – № у 2011 06807; заявл. 30.05.2011; Опубл. 25.01.2012, Бюл. №2
6. ДБН В .1.1.7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
7. ДСТУ NEN1999-1-2: 2010 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. (En 1999-1-2:2007, idt).
8. ДСТУ – Н EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Дії на конструкції під час пожежі.

Ю.В. Гуцуляк, С.Я. Вовк, В.В. Корнийчук

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ
НАПОЛНЕННОГО ПОЛИМЕТИЛФЕНИЛСИЛОКСАНА**

В статье проанализированы существующие покрытия для огнезащиты металлических конструкций и предложены покрытия для огнезащиты конструкций из алюминиевых сплавов. Приведены результаты исследований влияния разработанного покрытия на время прогрева конструкций из алюминиевых сплавов до критической температуры в условиях нагрева при стандартном температурном режиме. Установлено, что разработанный состав покрытия характеризуется высокими защитными теплоизоляционными свойствами, имеет хорошие адгезионные характеристики в интервале температур до 600 °С, и может быть использован для повышения огнестойкости и долговечности алюминиевых сплавов, работающих в условиях высоких температур и воздействия огня.

Ключевые слова: покрытие, огнезащита, полиметилфенилсилоксан, предел огнестойкости.

Yu.V. Hutsulyak, S.Ya. Vovk, V.V. Korniychuk

**IMPROVING THE FIRE PROTECTION EFFICIENCY OF ALUMINUM ALLOYS
CONSTRUCTION BASED ON FILLED POLYMETHYLPHENYLSILOXANE COVERS**

This article analyzes existing fire protection coatings of metal structures and proposes fire protection coatings for aluminum structures. Results of research of developed cover influence on the effect on the heating of aluminum alloys to the critical temperature by standard temperature mode are done. It is related, that the developed cover composition has high protective insulating properties and good adhesion characteristics at temperatures up to 600° C, and can be used to improve fire resistance and endurance of aluminum alloys, working at high temperatures and fire.

Keywords: cover, fire protection, polymethylphenylsiloxane, fire resistance.