

ОСОБЛИВОСТІ ГАСІННЯ ПОЛУМ'Я МАГНІЮ СУХИМИ СУМІШАМИ

FEATURES OF MAGNESIUM FLAME EXTINGUISHING WITH DRY MIXTURES

Цапко Ю.В., д.т.н., проф., ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0625-0783>,
Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-6473>,
Цапко О.Ю., PhD, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068x>,
Каверин К.О., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9086-5953> (Київський національний університет будівництва і архітектури)

Tsapko Yu.V., Doctor of Technical Sciences, professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0625-0783>,
Bondarenko O.P., PhD., associate professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-6473>,
Tsapko O.Yu., PhD, associate professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068X>,
Kaverin K.O., Ph.D., associate professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9086-5953> (Kyiv National University of Construction and Architecture)

Проведено аналіз виникнення пожеж і вибухів на об'єктах зберігання боєприпасів та встановлено, що займання дерев'яної тари від запалювальних речовин може призвести до техногенної катастрофи. Також встановлено, що застосування ефективних вогнегасних сумішей обмаль та потребує їх розробки. Встановлення ефективності захисту при дії високих температур та впливу компонентів, які входять до складу, і ролі у забезпеченні гасіння високотемпературного полум'я дає можливість розробляти ефективні способи та засоби гасіння пожеж таких класів. Для протидії високій температурі було запропоновано композицію суміші, основу якої склали антипірени (поліфосфат амонію), газоутворювачі (меламін), вуглевод (пентаеритрит) та високотемпературні наповнювачі на основі мінеральних речовин. Дослідження показали, що при гасінні полум'я магнію зразками сухих сумішей з додаванням алюмосилікатних мікросфер, перліту, базальтової чешуї, металургійного шламу та золи у кількості 50 % інтенсивність подавання порошку при гасінні полум'я магнію в межах 0,034...0,041 г/(см²·с), що значно нижче інтенсивності подавання хлориду натрію. Результати визначення ефективності гасіння полум'я магнію сухими сумішами вказують на неоднозначний вплив наповнювачів на змінення інтенсивності подавання при гасінні полум'я.

An analysis of fires and explosions at ammunition storage facilities was conducted, and it was established that the ignition of wooden containers by flammable substances can lead to a man-made disaster. It was also established that the use of effective fire extinguishing mixtures is insufficient and requires further development. Determining the effectiveness of protection against high temperatures and the effects of components in the composition, and the role in extinguishing high-temperature flames, makes it possible to develop effective methods and means of extinguishing fires of such classes. To counteract high temperatures, a mixture composition was proposed, based on flame retardants (ammonium polyphosphate), gas generators (melamine), carbohydrates (pentaerythritol), and high-temperature fillers based on mineral substances. Studies have shown that when extinguishing magnesium flames with dry mixtures containing aluminosilicate microspheres, perlite, basalt flakes, metallurgical slag, and ash in an amount of 50 %, the intensity of powder delivery when extinguishing magnesium flames was within the range of 0.034...0.041 g/(cm²·s), which is significantly lower than the intensity of sodium chloride delivery. The results of determining the effectiveness of extinguishing magnesium flames with dry mixtures indicate an ambiguous effect of fillers on changes in the intensity of powder supply during flame extinguishing.

Ключові слова: горіння металу, втрата маси, обвуглювання, захисні засоби деревини, вогнегасні порошки.

metal combustion, mass loss, charring, wood preservatives, fire extinguishing powders.

Вступ. Основним матеріалом для виготовлення будівельних конструкцій на військових об'єктах є деревина, тому проблема їх захисту від пожеж набула ще більш актуального характеру і виявила низький рівень безпеки експлуатації, оскільки за групою горючості відносять до групи горючих матеріалів середньої займистості. Вогнезахисне оброблення будівельних матеріалів і виробів з деревини може значно вплинути або виключити виникнення пожежі. Зокрема, покриття надає деревині здатності протистояти дії полум'я, поширенню полум'я поверхнею, в запобіганні вільному доступу кисню, який сприяє прискоренню процесу горіння та його послідовному затуханню.

На складах боєприпасів на Запоріжжі (Україна) невідомі особи за допомогою безпілотних літальних апаратів скинули запальні предмети на територію об'єкта. В результаті цього виникли осередки загоряння, які складно було загасити. Окремі частинки магнію потрапляли під дерев'яні ящики, в яких зберігались боєприпаси. Для гасіння неможливо було використовувати воду, тому що вона неефективна при гасінні цих об'єктів.

Виготовлення високоякісних матеріалів, визначення їх властивостей на сьогодні надається особлива увага [1, 2]. Тому ефективність боротьби з

пожежами у значній мірі залежить від якості вогнегасних речовин та технологій їх застосування [3].

Враховуючи, широке використання металевих запалювальних сумішей, які здатні при горінні виділяти температуру понад 2200°C та запалювати горючі матеріали, зокрема, деревину. І в результаті чого постає необхідність ліквідації пожеж та захисту деревини від дії таких температур.

Тому дослідження ефективності гасіння, впливі компонентів, які входять до їх складу, на цей процес є невирішеною складовою забезпечення живучості та визначають необхідність розроблення спеціальних вогнегасних засобів. Це і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Огляд останніх досліджень та публікацій. На сьогодні встановлено, що магнієві сплави широко використовують для виготовлення підпалювальних гранат, які провокують виникнення комбінованих пожеж (класу А, В, D) [4]. Знання фізико-хімічних властивостей таких речовин, показників їх якості, механізму дії на горючі матеріали дає змогу здійснювати їх вибір з урахуванням економічних показників, тривалості і безпеки застосування, екологічних аспектів тощо [5, 6].

Для ліквідації полум'я магнію та його сплавів використовуються вогнегасні порошкові склади спеціального призначення, які покривають вогнище горіння, що перешкоджає доступу кисню повітря в зону горіння. Але такі речовини малоефективні та потребують значної кількості для ліквідування загорання, окрім того займання може виникнути у важкодоступних місцях. Встановлено, що для підвищення ефективності процесу гасіння пожеж магнієвих сплавів є необхідним комплексний підхід до гасіння з розробленням нових методів і способів їх гасіння та виготовлення відповідних технічних засобів [7].

Сучасні методи захисту від вогню включають використання покриттів, що спучуються, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів та характеризуються високою інтумісцентною здатністю. Ефективність застосування компонентів покриття на основі органічних речовин показана в роботі [8], де за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфорних кислот та спінювачів можливо значно впливати на формування захисного шару пінококсу. Значне підвищення стійкості, щільності і міцності захисного шару досягається внаслідок направленою формування тих чи інших добавок, які утворюють високотемпературні сполуки [9].

Тому перспективним напрямком досліджень є підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій за допомогою вогнезахисних засобів. У більшості випадків їх модифікують полімерними комплексами і антипіренами, однак такі покриття відносяться до матеріалів, що легко вимиваються і придатні для внутрішніх приміщень [10, 11].

Вплив неорганічних наповнювачів на вогнезахисне покриття показав свою ефективність, однак робота покриття при цьому не вказана та не виявлені зміни теплопровідності при переході покриття у кокс [12-14]. Автори показали лише аналітичну модель для розрахунку теплопровідності захисного шару піно коксу при роботі покриття, яка враховує форми пір, але які перетворення у матеріалі відбуваються за температур горіння невідомо.

При створенні композицій для гасіння металів враховуються такі чинники:

- основна речовина не повинна містити в молекулі атом кисню (не підтримувати горіння), а також адсорбовану воду та вступати з металом в хімічну реакцію інгібування;

- порошкові склади повинні мати певний фракційний склад, не повинні злежуватися в процесі зберігання, що досягається включенням до складу гідрофобізуючих добавок.

Основним завданням досягнення позитивного результату при ліквідації горіння магнію є створення за допомогою сухих сумішей захисного повного покриття вогнища горіння, що перешкоджає доступу кисню повітря в зону горіння. Таке покриття має бути досить щільним, мати необхідну товщину шару порошку по всій поверхні осередку горіння, що досягається при певній питомій витраті порошку.

Гасіння магнію та його сплавів проводять шляхом засипання палаючого магнію великою кількістю сухого графіту, або флюсу, який використовується при плавці магнієвих сплавів. Також можливе застосування трихлориду бору для гасіння магнієвого полум'я, який взаємодіє з палаючим магнієм, утворюючи хлорид магнію, що ізолює поверхню від доступу повітря до палаючої поверхні. Або засипання палаючого магнію сухим пилоподібним карналітом або піском [15]. Вогнегасні порошки, які випускаються в Україні, не придатні для гасіння пожеж магнію, як і пісок.

Тому важливим питанням є встановлення ефективності вогнезахисту при дії вищезазначених температур та впливі компонентів, які входять до складу, і встановлення ролі у забезпеченні вогнестійкості. Дослідження механізмів взаємодії речовин з полум'ям металу дозволить розробляти ефективні способи та засоби гасіння пожеж таких класів, що і обумовлюють необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

Мета і задачі досліджень. Метою даної роботи було визначити особливості ліквідації полум'я магнію при його обробленні сухими сумішами.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили з використанням системи сухих сумішей, що складається з поліфосфату амонію (ПФА), мела міну, пентаеритриту (ПЕР) та мінеральних наповнювачів – алюмосилікатних мікросфер, перліту, базальтової чешуї, металургійного шламу, золи.

Для гасіння модельного вогнища полум'я магнію використовували систему сухих сумішей, що містить 18 % ПФА, 12 % меламіну, 10 % ПЕР. Отриману масу перемішували, вводили наповнювачі у кількості 10 %, а саме алюмосилікатні мікросфери, перліт, базальтову чешую, металургійний шлак, зол. Досліджуваний склад суміші для гасіння поміщали в ємність (рис. 1) та насипали на поверхню, що горить, рівномірно.



Рис. 1. Ємність для подачі суміші на гасіння полум'я магнію.

Визначення вогнегасної ефективності сухих сумішей покриття проводили за робочою методикою, суть якої полягала у експериментальному визначенні кількісного показника втрати маси порошку витраченого на гасіння. На зразок полум'я магнію (модель тверда запалювальна речовина) подавали вогнегасну суміш з заданими параметрами та реєстрували час до тушіння і втрату маси зразка, яка пішла на гасіння після випробування.

У сталевий круглий піддон діаметром 80 мм і глибиною 40 мм засипали магнієву стружку масою 10 г. Зразок підпалювали від проміжного запалювального складу. Після того як 90...95 % площі поверхні зразка запалало, проводили гасіння. Визначалася витрата порошку і стан осередку пожежі через 5 хвилин після гасіння та розраховували інтенсивність подавання вогнегасної суміші.

У якості пального використовувалась магнієва стружка, при горінні якої виділяється температура 2200 °C [16].

Результати досліджень. Проведено дослідження при гасінні полум'я магнію вологим піском та встановлено значне підвищення інтенсивності горіння (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Результати гасіння полум'я магнію вологим піском: а – горіння магнію; б – попадання вологого піску в полум'я магнію

На рис. 3 показано результати випробувань зразка суміші на органічній основі з додаванням наповнювачів.



а



б

Рис. 3. Процес запалювання модельного вогнища: а – займання магнію; б – процес горіння магнію

В табл. 1 приведено результати втрати маси та час гасіння модельного вогнища.

Таблиця 1.

Результати випробувань по гасінню полум'я магнію сумішами на основі органічних речовин з мінеральними добавками

Суміші на основі органічних речовин з додаванням	Маса зразка вогнегасного порошку, г		Час гасіння полум'я магнію, с	Інтенсивність подавання, г/(см ² ·с)	Результат гасіння (погашено, не погашено)
	до випробувань	після випробувань			
базальтової чешуї	42,1	35,9	2,5	0,031	погашено
перліту	42,0	36,1	2,4	0,033	погашено
алюмосилікатних мікросфер	42,2	36,0	2,8	0,032	погашено
металургійного шламу	42,2	31,2	4,6	0,049	погашено
золи	42,1	34,1	4,7	0,036	погашено

Інтенсивність подавання розраховували за рівнянням:

$$I = \frac{G}{\tau} = \frac{m}{S \cdot \tau},$$

де G – загальна кількість вогнегасної речовини, що витрачається під час гасіння пожежі на одиницю розрахункового параметра пожежі, г/см²;

S – площа поверхні, м²;

m – маса порошку, яка пішла на гасіння, г;

τ – час гасіння пожежі, с.

З результатів, вказаних в табл. 1, встановлено, що зразки сухих сумішей покриття з додаванням алюмосилікатних мікросфер, перліту, базальтової

чешуї, металургійного шламу та золи у кількості 50 % показали інтенсивність подавання порошку при гасінні полум'я магнію в межах $0,034...0,041$ г/(см²·с), що значно нижче інтенсивності подавання хлориду натрію, що становить $0,044$ г/(см²·с) [7]. Утворюючи хімічні з'єднання з горючим магнієм сухі суміші покриття припиняють доступ повітря до палаючої поверхні.

При роботі вогнезахисного покриття під термічною дією високотемпературного полум'я магнію, на що вказують результати досліджень, є закономірним процес спучення покриття. Під дією температури проходить процес розкладу сухих сумішей покриття з виділенням великої кількості інертних газів і утворенням теплоізолювального шару, які уповільнюють процеси переносу кисню до магнію. Слід зазначити, що присутність наповнювача в кількості 50 % (алюмосилікатні мікросфери, перліт, базальтова чешуя, металургійний шлам, зола), призводить до зшивання шару пінококсу за рахунок утворення тугоплавких сполук та відповідно до покращення стійкості до полум'я магнію. Вочевидь такий механізм впливу добавок є фактором регулювання ступеня стійкості коксу і ефективності ізолювання горючого матеріалу.

Дослідженнями встановлено, що магній згоряє у вологому середовищі з вибухом. При взаємодії з водою виділяє горючі гази і велику кількість тепла (рис. 2). Тому при розробленні вогнегасних сумішей доходимо висновку, що гасіння магнію потребує нових вогнегасних складів. Результати визначення ефективності гасіння полум'я магнію сухими сумішами покриття (табл. 1) вказують на неоднозначний вплив наповнювачів на змінення інтенсивності подавання вогнегасного засобу. Зокрема, це передбачає наявність даних, достатніх для якісного проведення процесу гасіння та виявлення на його основі моменту часу, з якого починається падіння температури полум'я. Таке виявлення дозволить дослідити перетворення сухих сумішей покриття, що ізолює палаючу поверхню металу з утворенням сполук, та визначити ті змінні, що суттєво впливають на початок перетворення цього процесу.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено особливості протидії полум'я магнію речовин різного походження та показано ефективність застосування сухих сумішей покриття до ліквідації високої температури горіння магнію. Зокрема випробування на модельних зразках при гасінні полум'я магнію показали, що при взаємодії з водою та вологими речовинами він виділяє горючі гази та велику кількість тепла. Натомість зразки сухих сумішей покриття з додаванням алюмосилікатних мікросфер, перліту, базальтової чешуї, металургійного шламу та золи у кількості 50 % показали інтенсивність подавання порошку при гасінні полум'я магнію в межах $0,034...0,041$ г/(см²·с), що значно перевищує інтенсивність подавання хлориду натрію, що використовується для гасіння пожеж. При цьому сухі суміші покриття утворюють хімічні з'єднання з горючим магнієм, припиняють доступ повітря до палаючої поверхні.

1. Tsapko Ju., Guzii S., Remenets M., Kravchenko A., Tsapko O., Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium, *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 4/10 (82) (2016) 31-36.
2. Kryvenko P., Tsapko Ju., Guzii S., Kravchenko A., Determination of the effect of fillers on the intumescent ability of the organic-inorganic coating of building constructions, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5/10 (83) (2016) 26-31.
3. Tsapko Yu., Lomaha V., Bondarenko O., Sukhanevych M., Research of mechanism of fire protection with wood lacquer. *Materials Science Forum*. 1006 (2020) 32-40. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.32.
4. Kovalishin V.V., Mirus O.L., Marich V.M., Kovalishin V.V., Lozinskiy, R.J. Problemy gasinja magniju ta yogo splaviv. Pozhezna bezpeka: Zbirnik naukovih prats LDU BZD. 28 (2016) 58-63.
5. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O., Modeling of thermal conductivity of reed products, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Innovative Technology in Architecture and Design*. 907 (2020) 012057. doi:10.1088/1757-899X/907/1/012057.
6. Nenahov S.A., Fiziko-himiya vspenivayouschihiya ognezaschitnyh pokrytiy na osnove polifosfata amoniya, *Pozharovzryvobezopasnost*. 19 (8) (2010) 11-58.
7. Kovalishin V.V., Marich V.M., Kiriliv Ja.B., Koshelenko V.V., Mirus O.L., Doslidzenja khimichnih rechovin, jak skladnikiv vognegasnih poroshkiv dlja gasinnja legkih metaliv, *Pozhezna bezpeka*. 29 (2016) 46-56.
8. Carosio F., Alongi J., Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds, *Acs applied materials & Interfaces*. 8 (10) (2016) 6315-6319.
9. Krüger S., Gluth G. J. G., Watolla M-B., Morys M., Häßler D., Schartel B., Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. Berlin, Bautechnik. 93 (8) (2016) 531-542.
10. Xiao N., Zheng X., Song S., Pu J., Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber, *United States: BioResources*. 9 (3) (2014) 4924-4933.
11. Nine J., Tran D. N. H., Thanh Tung T., Kabiri Sh., Losic D., Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action, *School of Chemical Engineering*. 9 (11) (2017) 10160-10168.
12. Ciripi B.K., Wang, Y.C., Rogers B., Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire, *Fire Safety Journal*. 81 (1) (2016) 74-84.
13. Erdoan Y., Production of an insulation material from carpet and boron wastes, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 152 (2016) 197-202.
14. Fan F.-Q., Xia Z.-B., Li Q.-Y., Li Z, Effects of inorganic fillers on the shear viscosity and fire retardant performance of waterborne intumescent coatings, *Progress in Organic Coatings*. 76 (5) (2013) 844-851.
15. Bonifazi G., Serranti S., Capobianco G., Agresti G., Calienno L., Picchio R., Lo Monaco A., Santamaria U., Pelosi C., Hyperspectral imaging as a technique for investigating the effect of consolidating materials on wood. *Journal of Electronic Imaging*. 26 (1) (2017) 011003.
16. Humar M., Repič R., Kržišnik D., Lesar B., Quality control of thermally modified timber using dynamic vapor sorption (dvs) analysis. *Forests*. 11 (6) (2020) 666 p. doi: 10.3390/f11060666.