

*М. М. Гивлюд, д-р техн. наук, професор, (Національний університет «Львівська політехніка»),
І. В. Ємченко, д-р техн. наук, професор (Львівська комерційна академія),
О. І. Башинський, канд. техн. наук, доцент, С. Я. Вовк
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВПЛИВ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ НАГРІВАННІ

У статті розглянуто вплив складу вогнезахисних покриттів на міцнісні характеристики будівельних конструкцій з алюмінієвих сплавів та експериментально обґрунтовано можливість використання розроблених рецептур для виготовлення високотемпературно- та вогнезахисних покриттів. Встановлено, що при дії високих температур захисні покриття, виготовлені згідно із запропонованими рецептурами, значно підвищують довготривалу міцність алюмінієвих сплавів, а також суттєво впливають на їх жаростійкість.

Ключові слова: алюмінієві сплави, захисне покриття, міцність на розтяг, відносне видовження, довготривала міцність.

Постановка проблеми. Завдяки високим механічним властивостям, легкості та корозійній стійкості алюмінієві сплави широко використовуються у будівництві. Але, чинні нормативні документи містять високі вимоги і стосовно дії вогню, високих температур та високоактивних газових середовищ.

Ефективним способом забезпечення відповідної вогнестійкості алюмінієвих сплавів є використання вогнезахисних матеріалів. Задача вогнезахисту полягає у утворенні на поверхні алюмінієвих сплавів вогне- температуростійких теплоізоляційних суцільних екранів, стійких до дії високих температур та агресивних факторів пожежі. Вони також дають змогу зменшити прогрівання матеріалу та розвиток пластичних деформацій, що може значно збільшити його стійкість до дії високих температур.

Вогнестійкі захисні покриття, які використовуються на сьогодні, внаслідок низької атмосферостійкості та наявності у своєму складі хімічно агресивних компонентів не довговічні і екологічно небезпечні. Тому, вивчення характеру зміни вогнестійкості цих вогнезахисних алюмінієвих сплавів актуальне для підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів, споруджених на їх основі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вибір конструкційних матеріалів, які працюють в умовах високих температур та дії вогню залежить від запропонованого терміну експлуатації. Для робочого інтервалу температур 573-773 К використовують термостійкі сталі і сплави, вище 873 К – сплави на основі Ti, Ni, Cr, Co, W і Fe. Підвищити стійкість матеріалу до дії високих температур і вогню можна формуванням на його поверхні захисного покриття відповідного фазового складу і структури. Шляхом коригування покриття бар'єрного типу, які практично унеможливають доступ кисню до поверхні матеріалу.

Технічні і техніко-економічні властивості органосилікатних матеріалів зумовлені термодинамічною стабільністю силосанового зв'язку (Si-O). Для захисту металевих конструкцій застосовують поліорганосилоксани, які поєднують термостабільність та хімічну інертність силіційкисневого каркасу з високими фізико-механічними властивостями.

Однак, досягнутий рівень цих характеристик (корозійна стійкість, жаростійкість, термостійкість та інші) визначається в основному властивостями вихідних компонентів і одержаних на їх основі продуктів синтезу. Шляхом введення додаткових інгредієнтів можна збільшити потенціал міжфазової взаємодії у зоні контакту, який досі повністю не реалізований. Висока реакційна здатність зв'язків -Si-O-Si-, -Si-O-Me- в момент деструкції силіційорганічних сполук сприяє інтенсифікації та регулюванню процесів фазоутворення у самому матеріалі і у зоні контакту, що дасть змогу суттєво покращити фізико-хімічні та експлуатаційні властивості цілої низки конструкційних матеріалів.

Тому, відомі композиції для надійного високотемпературного та вогнезахисту на основі існуючих наповнених полімерних і силіційорганічних матеріалів, яким характерна сукупність високих технологічних, адгезійно-міцнісних і захисних властивостей, мають суттєвий недолік, а саме – низьку захисну здатність за рахунок термодеструкції зв'язки в наслідок високих температур.

Мета роботи полягає у встановленні можливості використання вогнезахисних покриттів на основі наповненого поліметилфенілсилоксану для збільшення довговічності алюмінієвих сплавів в умовах пожежі.

Результати досліджень. В основу вибору вихідних складів для вогнезахисних покриттів закладено можливість утворення на поверхні алюмінієвих сплавів завдяки нагріванню теплоізоляційного шару, стійкого до дії вогню та високих температур. В якості компонентів для отримання вихідних композицій використано поліметилфенілсилоксановий лак (КО-08) та оксид титану і хрому (наповнювач) (табл.1).

Покриття наносили на алюмінієві сплави товщиною 0,6-0,8 мм. Затверднення покриттів проходило за кімнатної температури протягом 24 годин.

Таблиця 1

Склади вихідних композицій для захисних покриттів на основі наповненого поліметилфенілсилоксану (КО-08)

№ складів з/п	Вміст компонентів, мас.%				
	КО-08	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Мін. вата
1	30	50	20	-	-
2	40	40	20	-	-
3	35	40	15	10	-
4	30	34	15	20	1
5	35	35	13	15	2
6	40	32	15	10	3

У процесі експлуатації алюмінієвих сплавів агресивне зовнішнє середовище (дія вологи, хімічноактивних газових фаз) суттєво впливає на його механічні характеристики. При цьому (табл.2) межа текучості зменшується на 3-6 МПа, а міцність при розтягу на 2-10 МПа залежно від складу покриття. Мінімальне зменшення міцності при розтягу характерне для покриття складу 6, що пояснюється наявністю в ньому значного вмісту (3 мас %) армуючого компонента, а саме мінеральної вати.

Таблиця 2

Механічні властивості сплаву АМГ6 із покриттям після комплексного впливу атмосферних факторів (після 30 циклів випробувань)

Покриття складу №	Модуль Юнга, МПа	Межа текучості, МПа	Межа міцності при розтягу, МПа	Відносне видовження, %
Без покриття	0,7 10 ⁵	167	295	16,1
1		161	289	22,1
2		164	287	22,0
3		160	285	21,9
4		163	290	22,1
5		161	291	22,2
6		162	293	22,3

Захисне покриття також збільшує відносне видовження сплаву при його руйнуванні. Встановлено, що відносне видовження зростає на 5,9-6,2 % завдяки поверхневій модифікації матеріалу. Отже, при комплексній дії атмосферних чинників протягом 30 циклів випробувань проходить незначне зменшення межі текучості та міцності при розтягу сплаву, але відносне видовження зростає, що підтверджує ефективність використання розроблених складів покриттів та їх високу стійкість під час експлуатації в природних умовах.

Властивою характеристикою є вплив захисного покриття на механічні властивості сплавів при нагріванні. Нами встановлено, що сплав АМг6 без покриття при нагріванні до 473 К збільшує межу текучості на 36 МПа, а межа міцності при розтягу зменшується на 54 МПа (табл.3). При цьому відносне видовження зростає на 2,8 %.

Таблиця 3

Зміна механічних властивостей сплаву АМг6 з покриттям при нагріванні

Покриття складу №	Температура нагрівання, К	Межа текучості, МПа	Межа міцності при розтягу, МПа	Відносне видовження, %
Без покриття	273	167	295	16,1
	473	131	231	18,9
	573	71	129	27,2
2	273	165	297	22,1
	473	134	239	18,1
	573	82	201	22,4
3	273	164	299	22,0
	473	136	242	18,0
	573	85	212	20,9
5	273	168	307	22,2
	473	139	245	17,9
	573	89	219	20,0

Нанесення покриттів збільшує межу текучості та міцність на розрив відповідно на 3-8 МПа та 8-14 МПа залежно від їх складу. При цьому на 0,8-1,0 % зменшується їх відносне видовження.

Підвищення температури до 573 К для необробленого сплаву зменшує межу текучості сплаву АМг6 у 2,35 рази, а міцність при розтягу у 2,28 рази. При цьому відносне видовження зростає на 11,1 %. Для оброблених покриттями сплавів при вказаній температурі термооброблення зменшує межу текучості тільки у 1,95-2,0 рази, а міцність при розтягу у 1,41-1,47 рази. Відносне видовження зразків порівняно з необробленим матеріалом збільшується на 4,8-7,2 %.

Отже, нанесення покриттів збільшує міцність сплаву при нагріванні у інтервалі температур 473-573 К (рис.1), а далі матеріал інтенсивно втрачає міцність аж до руйнування.

Встановлено, характер деформування сплаву АМг6 за умови випробувань $T = 573 \text{ K}$, середовище-повітря, навантаження 10 МПа (рис.2.9а). Виявлено, що у сплаві без покриття процес деформування є короткотривалою повзучістю та виражається лінією без характерних ділянок. Процес деформування з покриттям включає дві стадії повзучості. Порушення суцільності покриття виникає при величині відносної деформації $20 \pm 3\%$, а утворені тріщини різко збільшують швидкість повзучості, що відповідає третій ділянці на кривій деформування.

Результати досліджень вказують, що покриття збільшують час до руйнування порівняно з непокритим зразком. За температури нагрівання 523К довготривала міцність сплаву АМг6 без покриття становить приблизно 36 хв, а з покриттям - 280-320 хв, що відповідає збільшенню довговічності у 7,0-8,7 разів (рис. 2 б).

Підвищення температури до 773К зменшує довготривалу міцність сплаву до 18 хв, а нанесення покриття веде для її збільшення довговічності у 12,5-13,9 рази.

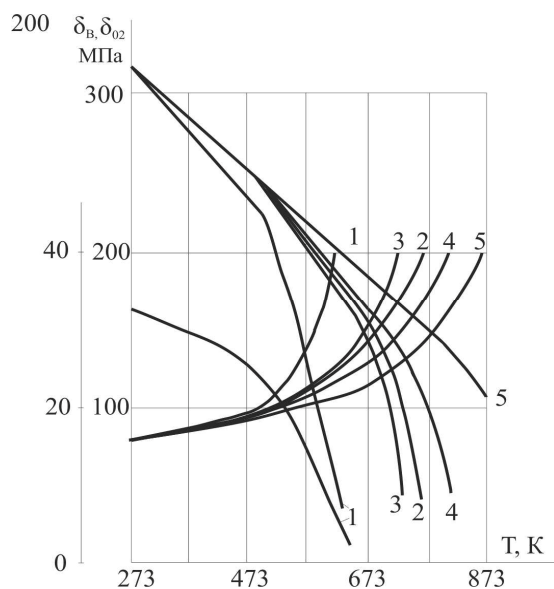


Рис. 1. Зміна механічних властивостей сплаву АМгб з покриттями:
 1 – без покриття; 2 – склад 2; 3 – склад 3; 4 – склад 5; 5 – склад б

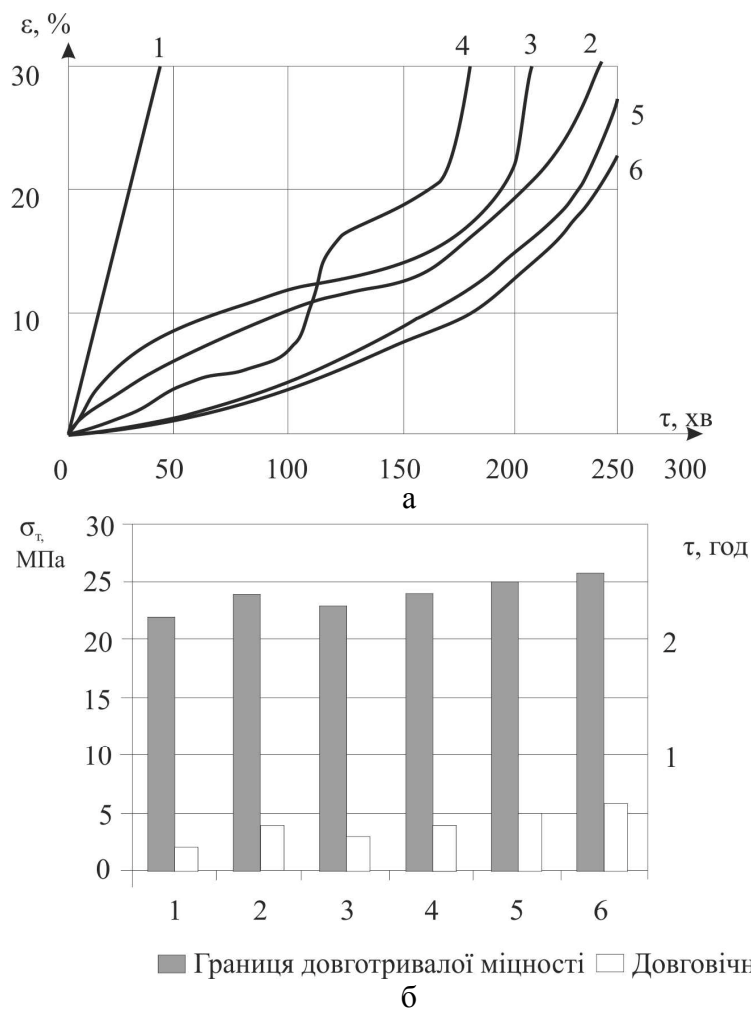


Рис. 2. Криві повзучості (а) та довготривалої міцності АМгб:
 1 – без покриття; 2 – покриття складу 1; 3 – складу 2; 4 – складу 3;
 5 – складу 5; 6 – складу б.

Розроблені склади захисних покриттів також суттєво впливають на жаростійкість сплаву. Так, корозія сплаву АМг6 без покриття починається при нагріванні до температури вищій від 473 К та найбільш інтенсивно проходить в інтервалі температур 573-773 К. Глибина корозії за температур випробувань 523 та 773 К становить відповідно 1,4 та 5,2 мм/рік, що у 3,2-5,8 рази менше ніж для сплаву без захисного покриття.

Висновки:

- проведеними дослідженнями встановлена можливість використання розроблених складів покриттів у якості високотемпературно- та вогнезахисних покриттів для алюмінієвих сплавів;
- встановлено, що покриття збільшують довговічність сплаву АМг6 в 3-4 рази порівняно з необробленим;
- розробленні склади захисних покриттів суттєво впливають на корозійну стійкість і при температурі 773 К вона у 3,2-5,8 рази менша ніж у сплаву без покриття.

Список літератури:

1. **ДСТУ NEN1999-1-2:** 2010 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. (En 1999-1-2:2007, idт).
2. **Файбишенко В.К.** металлические конструкции / Файбишенко В.К. – м.: Стройиздат, 1984 – 336с.
3. **Гивлюд М.М,** Ілів В.В, Боровець З.І Термо- і жаростійкі захисні покриття на основі наповнених силіціелементоорганічних композицій // Вісн. НУ "Львівська політехніка". – 2001. – №426. – С. 56-58.
4. **Машевитый Ю.М.** Идентификация и моделирование теплофизических процессов в строительных конструкциях при экстремальных воздействиях / Ю.М. Машевитый, А.П. Слесаренко, Н.А. Сафронов // Доповіді НАН України, – 2007, №2. – с.82-86.
5. **Полифункциональные** элементоорганические покрытия // Под общ. ред. А. А. Пашенко. – К.: Вища. школа, 1987. – 198с.
6. **Артеменко В. В.** / Компонентний склад та аналіз властивостей захисних покриттів на основі наповнених поліалюмосилоксанів // Артеменко В. В. Збірник наук. праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека», №16, 2010. – с.59-63.
7. **Гивлюд М.М.,** Свідерський В.А., Ілів В.В. Композиційне антикорозійне покриття. // Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів. / Львів, 1996. – С. 182-184 62.
8. **Жаропрочные** покрытия на основе полиорианосилоксанов: тез. докл. IX Всесоюз. конф. «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов» / Свидерский В.А., Гивлюд Н.Н., Век М.В. – Обнинск. 1984. – С. 184-185.

Н. Н. Гивлюд, И. В. Емченко, О. И. Башинский, С. Я. Вовк

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ НАГРЕВАНИИ

В статье рассматривается влияние состава огнезащитных покрытий на прочностные характеристики строительных конструкций из алюминиевых сплавов и экспериментально обосновывается возможность использования разработанных рецептур для изготовления высокотемпературных и огнезащитных покрытий. Установлено, что при воздействии высоких температур покрытия, изготовленные согласно предложенным рецептурам, значительно повышают долговременную прочность алюминиевых сплавов, а также существенно влияют на их жаростойкость и долговечность.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, защитное покрытие, прочность на растяжение, относительное удлинение, долговременная прочность.

M. M. Hyvlyud, I. V. Yemchenko, A. I Bashinsky, S. J. Vovk

THE IMPACT OF PROTECTIVE COATING ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF ALUMINIUM ALLOYS DURING HEATING

The article deals with the impact of fire retardant coating on strength characteristics of building structures from aluminium alloys. The possibility of the use of the developed formulations for manufacturing heat- and flame-retardant coatings was confirmed by experiment. It was found that protective coatings, exposed to high temperature significantly improve long-term strength of aluminum alloys and affect their heat resistance and durability.

Key words: aluminium alloys, protective coatings, tensile strength, relative elongation, long-term durability.

