

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ
НАНЕСЕННЯМ ЕВТЕКТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ Si, Ni, Cr -
ЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Fe-Mn-C-B**

Пашечко Михайло Іванович¹, Бережанський Тарас Григорович²

¹Люблінський політехнічний інститут, Польща

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

На сучасному етапі розвитку суспільства при гасінні пожеж та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, пожежно-рятувальні підрозділи змушені працювати у складних та небезпечних умовах. При цьому від якості та надійності пожежної техніки і аварійно-рятувального обладнання, які використовуються рятувальниками, може залежати не тільки життя потерпілих, а й їх власне. На сьогодні у аварійно-рятувальних підрозділах часто використовують техніку та обладнання, які є частково зношеними та у яких вийшов термін експлуатації або ресурс роботи. Виявлено евтектичний матеріал, який в процесі досліджень відзначався найменшою втратою маси при великих навантаженнях, можна стверджувати, що даний матеріал може використовуватись для нанесення на робочі елементи пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання, які працюють при великих навантаженнях з метою підвищення їх зносостійкості, а в результаті збільшення ресурсу їх роботи та терміну експлуатації.

Ключові слова: пожежна техніка, евтектичне покриття, навантаження, тертя, зносостійкість.

**RAISING THE WEAR RESISTANCE FOR WORKING ELEMENTS FIRE
EQUIPMENT BY APPLYING COATINGS BASED ON EUTECTIC Si, Ni, Cr -
DOPED ALLOYS OF Fe-Mn-C-B**

M. Pashechko, T. Berezhanskyi

In modern society in extinguishing fires and emergencies of natural and man-made disasters, fire and rescue departments have to work in extremely difficult and dangerous conditions. Thus the quality and reliability of fire equipment and rescue equipment used by rescuers may depend not only the life of the victims, but also their own. Today in emergency departments often use techniques and equipment which are partly worn out and have lifetime or service life. Discovered eutectic material in the study marked the lowest mass loss at high loads, we can state that the material can be used for the application of the working elements of fire equipment and rescue equipment that operate at high loads in order to increase their durability, and result resource increase their performance and service life.

Key words: Fire appliances, eutectic coating, friction, burden, wear resistance.

Постановка проблеми. На сьогодні при гасінні пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій, пожежні підрозділи працюють у дуже складних та небезпечних умовах. При цьому від якості та надійності пожежної техніки і обладнання, які використовують пожежні, залежить життя потерпілих, та їх власне. Зараз у аварійно-рятувальних підрозділах часто використовують техніку та обладнання, які є частково зношеними та у яких вийшов термін експлуатації або ресурс роботи. За даними Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні за 2014 рік, понад 75% автомобільної та пожежно-рятувальної техніки складають зразки з термінами експлуатації від 15 до 45 років та потребують капітального ремонту або списання. Придбання нової техніки та обладнання і повна заміна всіх зношених деталей є надзвичайно економічно затратним. Тому розробка покриттів, які дозволяли б

підвищити зносостійкість робочих елементів пожежної техніки та обладнання та давали б змогу відновлювати зношені частини, є актуальним завданням.

Метою роботи є підвищення зносостійкості існуючих або створення нових покриттів із наперед заданими властивостями, для нанесення на окремі робочі елементи пожежної та аварійно-рятувальної техніки і обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Аналізуючи зносостійкі покриття та порошкові матеріали, які широко використовуються у промисловості, встановлено, що розроблені проф. М.І. Пашечком евтектичні покриття системи Fe – Mn – C – B – Si – Ni – Cr [1], можна наносити на поверхню металів методом плазмового наплавлення та іншими перспективними методами, порівняно із серійними покриттями, одержаними із порошкових сплавів ПГ-СРЗ, ПГ-10Н-01 (порошок-аналог 10009 "Боротак", фірми Кастолін, Швейцарія), та ПГ-12Н-01, характеризуються у 2-10 і більше разів вищою зносостійкістю [2].

Виклад основного матеріалу. Одним з перспективних шляхів для підвищення зносостійкості деталей машин і механізмів є створення і нанесення захисних евтектичних покриттів (ЕП). В останні роки в роботах присвячених питанням контакту тертя, все частіше береться до уваги явище самоорганізації [3]. Самоорганізація або самоупорядкування (ang. self-organisation, self-assembly) це явище, в якому елементи складної системи є спонтанно впорядкованими [4].

На перебіг процесу тертя істотно впливає поверхнева сегрегація атомів.

М. Pashchko також виявив вищезгадане явище, при використанні евтектичних сплавів на основі систем Fe-Mn-Si-C-B , Fe-Mn-Si-C-B-Cr , Fe-Mn-Si-C-B-Ni-Cr. На поверхні тертя підлягають сегрегації атоми вуглецю, бору і кремнію [3].

Методи досліджень. Після опрацювання відповідної літератури, вибрано матеріали необхідні для отримання зносостійких покриттів. Об'єктом дослідження були покриття, отримані методом дугового наплавлення в газовій оболонці при використанні порошкових дротів, вироблених із наплавленого евтектичного сплаву. Поверхні покриттів досліджувались до та після трибологічних тестів.

Для дослідження фрикційного зношування евтектичних сплавів використано змодифікований триботестер Амслера [5].

Для вимірювання твердості покриттів використовували твердоміра Роквелла. Під час дослідження було використано ISO 6508-1 [6]. Вимірювання полягало у двоступеневому втисканні у поверхню зразка алмазного конуса з кутом 120°. Випробування повторювали п'ять разів для кожного зразка. Потім розраховувалось середнє значення зразків і визначалось стандартне відхилення.

Для вимірювання мікротвердості використовували мікротвердоміра ZWICK 3212002/00. Мікротвердість вимірювали на поперечному перерізі на різних глибинах. Вимірювання полягало в углибленні алмазу Вікерса. Навантаження були виконані з урахуванням ISO 6507-1 [7].

Вимірювання нанотвердості, а також модуля Юнга поверхні тертя покриттів проведено за допомогою пристрою Nano Tester фірми CSEM Instruments. Цей пристрій служить для вимірювання нанотвердості матеріалів дрібнокристалічної структури, а також тонких шарів. Для наплавлених поверхонь, нанотвердість і модуль Юнга виміряно на поверхні зразків перед і після тертя. Вимірювання полягало у втисканні алмазом (втискач Берковіча) поверхні зразків з одночасним вимірюванням сили і глибини входження. Основні параметри дослідження нанотвердості: лінійне навантаження, максимальне

навантаження 200 мН, швидкість навантаження 400 мН/хв, швидкість розвантаження 400 мН/хв, перерва 10 с.

Результати досліджень. Склад серцевини порошкового дроту отримано із евтектичного сплаву Fe-Mn-C-B. В якості легуючих елементів використано Si, Cr, Ni. При дослідженні складу було прийнято до уваги дані, що стосуються отримання евтектичних сплавів [8, 9]. На основі цього, в Інституті Зварювання в Глівіцах було вироблено порошкові дроти, а також проведено різні способи наплавлення і здійснено хімічний аналіз наплавленого металу. Порошкові дроти виготовлено діаметром 2,4 мм. Хімічний аналіз наплавленого металу порошкового дроту представлений в таблиці 1.

Таблиця 1

Аналіз наплавленого металу порошкового дроту

Вміст складників, %	Умовне позначення зразка для випробувань						
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7
C	3,15	2,81	1,59-1,81	1,98	1,71	1,60	1,62
Si	2,16	2,29	2,67	2,70	2,32	1,92	2,47
Mn	13,94	10,76-13,04	0,17	5,78	3,13	5,93	7,28
Cr	10,57	10,96	16,27	13,92	15,88	15,35	16,24
Ni	12,43	8,35	8,24	11,00	10,50	10,21	17,67
B	1,89	1,97	1,95	2,12	2,18	2,25	1,79
Fe	решта						

Не тільки складу наплавленого металу має вплив на властивості наплавлених покриттів, а також і технологія наплавлення, яка може значно змінити структуру матеріалу, що в свою чергу впливає на його продуктивність. Ознайомившись з друкованими працями про отримання покриттів, ми використали метод дугового наплавлення в газовій оболонці GMA (MAG).

Об'єктом дослідження були покриття евтектичних сплавів Fe-Mn-C-B легуваних Si, Ni та Cr. Вони були отримані методом наплавлення GMA (MAG). Матеріали для наплавлення виготовлені у формі порошкових дротів. Склад наплавленого металу після хімічного аналізу наведені в таблиці 1. Метою дослідження було визначення покриття з евтектичного сплаву, який характеризується найменшим зношенням при терті. Досліджені покриття з евтектичних сплавів позначено, як L-2 , L-3 , L-4 , L-5 , L-6 , L-7. Перед випробуваннями було відкинута покриття позначене як L-1, у зв'язку з численними дефектами зварювання (тріщини в зварних швах). Перед трибологічними випробуваннями, було проведено випробування на твердість.

Твердість покриттів зі сплаву Fe-Mn-C-B легуваних Si, Ni, Cr досліджена твердоміром Роквелла. Результати, представлені на рисунку 1.

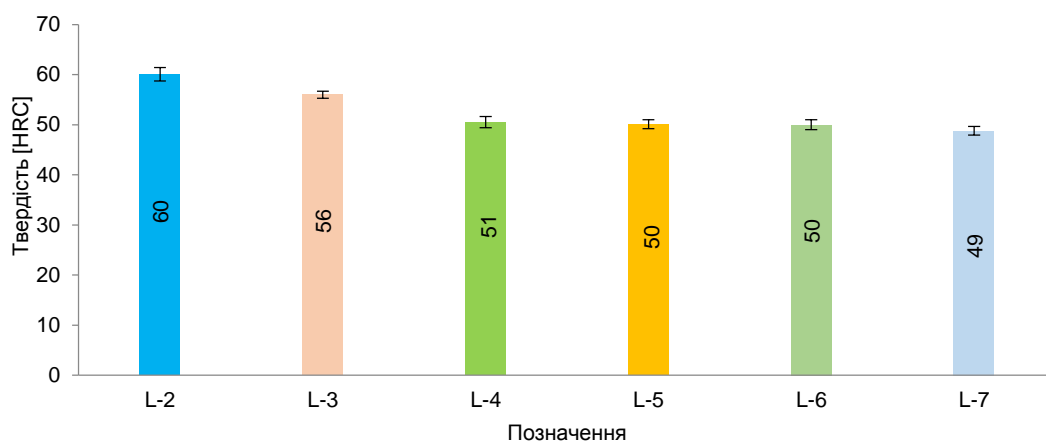


Рис. 1 - Твердість покриттів з евтектичних сплавів Fe-Mn-C-B легованих Si, Ni, Cr

Отримано наступні результати дослідження твердості. Зразком з найвищою твердістю було покриття L-2 з твердістю 60 HRC, наступним L-3 з твердістю 56 HRC. Зразками з найменшою твердістю були L-4 з твердістю 51 HRC, а також L-5 і L-6, твердість яких становила 50 HRC. Покриттям з найменшою твердістю було L-7 - 49 HRC. Максимальна стандартне відхилення зразків було 1.34 HRC. Зразок L-2 характеризується високим вмістом вуглецю 2,81% маси і низький вмістом нікелю 8,35% маси в порівнянні із зразками з більш низькою твердістю.

Дослідження проводилося на модифікованому триботестері Амслера в комбінованому терті контактного щита, відповідно до методики. Метою було визначити покриття, яке в процесі тертя характеризується найменшим зношенням.

Випробування проводилися при різних питомих натисках 3, 7, 10 і 15 МПа. Натомість решта параметрів прийнято постійними. Час одного трибологічного випробування становив 6 годин. Швидкість 0,4 м/с. Матеріал контрзразка - сталь 45.

Зведені результати середнього масового зносу (втрати ваги в міліграмах) після трибологічних випробувань для покриттів і відповідних контрзразків (сталь 45) представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Масове зношення зразків і контрзразків						
Питомі натиски	Позначення зразків					
	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7
МПа	Втрати маси [мг]					
3	78	100	65	51	99	66
7	178	127	148	155	198	123
10	188	211	202	178	172	125
15	877	774	560	580	623	515
Питомі натиски	Позначення відповідних контрзразків					
	L-2'	L-3'	L-4'	L-5'	L-6'	L-7'
МПа	Втрати маси [мг]					
3	98	146	127	150	65	103
7	104	228	161	140	98	127

10	198	260	234	220	188	228
15	148	166	101	113	113	141

Найменшою втратою маси при натисках 3 МПа характеризується покриття зі складом L-5 - 51 мг. Натомість, при питомих натисках 7 МПа покриття зі складом L-7 - 123 мг. Найменшою втратою маси при питомих натисках 10 МПа характеризується покриття зі складом L-7 - 125 мг. Як і при питомих натисках 15 МПа, 515 мг. Порівняння втрати маси для покриттів з евтектичних сплавів при питомих натисках сплаву на 3, 7, 10, 15 МПа наведено на рисунку 2.

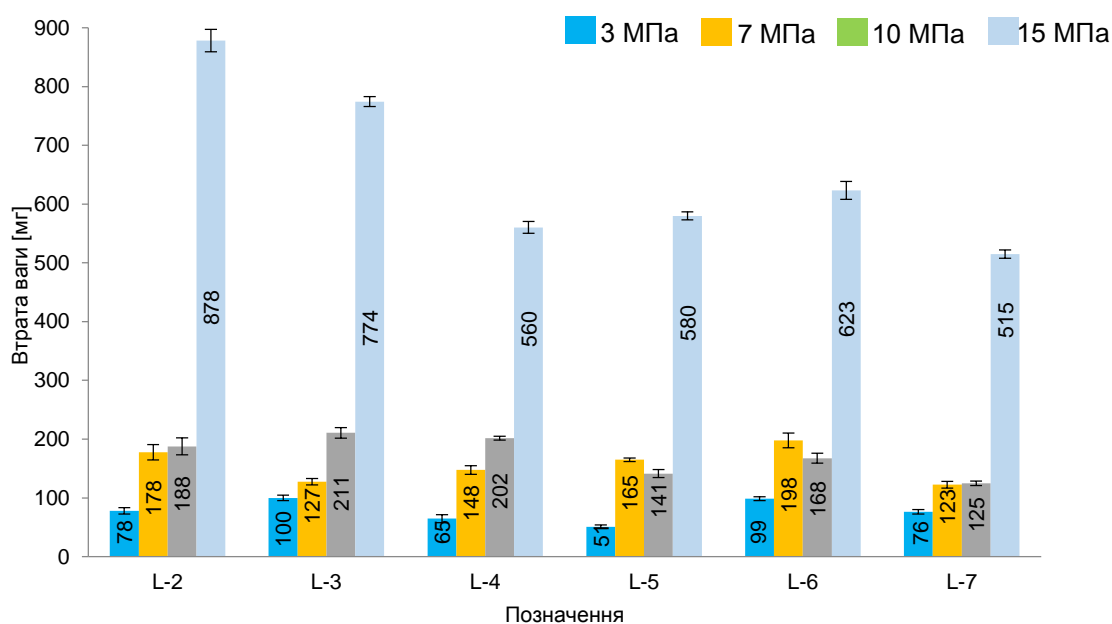


Рис. 2 - Відношення втрати маси зразків при питомих натисках 3, 7, 10, 15 МПа для покриттів з евтектичних сплавів Fe-Mn-C-V легованих Si, Ni, Cr

Для покриття зі складом покриття L-7 втрата маси є найменшою при питомих натисках 3 МПа - 66 мг. При натисках 7 і 10 МПа значення становлять приблизно 123 і 125 мг. Проте, при питомому натиску 15 МПа механізм зношення сильно змінюється, що призводить до значного збільшення втрати маси - 515 мг. Аналогічні залежності можна спостерігати для інших покриттів, тільки з іншими значеннями втрати ваги. Втрата маси контрзразка збільшується до натисків 10 МПа, а пізніше зменшується.

Процес зміни коефіцієнта тертя для покриття L-7 при натисках 3, 7, 10 і 15 МПа, представлений на рис. 3. Середній коефіцієнт тертя цих випробувань при тиску 3 МПа був 0,39, при 7 МПа - 0,51, при 10 МПа - 0,59, в той час як при 15 МПа - 0,94. Коефіцієнт тертя зростає із збільшенням питомого тиску.

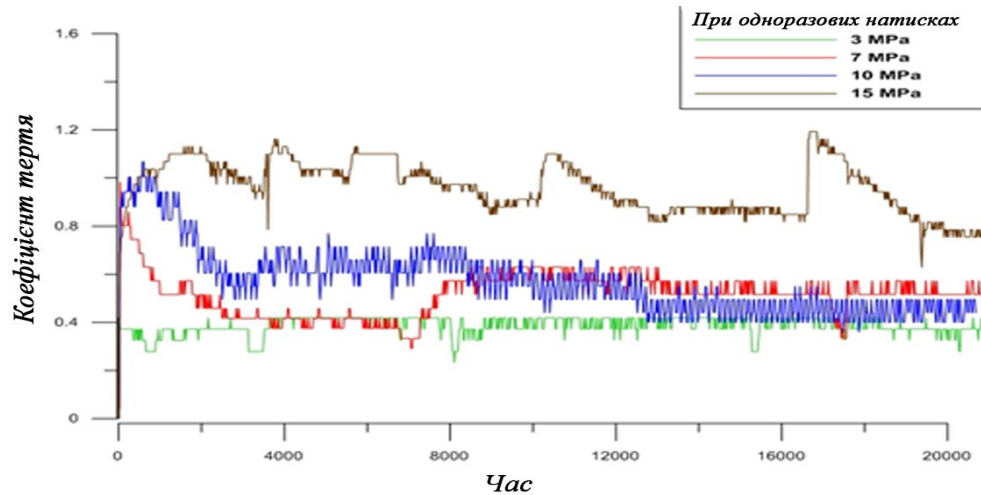


Рис. 3 - Процес зміни коефіцієнта тертя для евтектичного покриття зі складом покриття L-7 при питомих натисках 3, 7, 10, 15 МПа

Як показано на рисунку 3, коефіцієнт тертя при питомому натиску 15 МПа різко зростає, досягаючи максимального значення 1,1, проте середнє значення цілого випробування – 0,94. При всіх питомих навантаженнях у першому етапі видно скачкове зростання коефіцієнта тертя. Далі процес більш стабільний. Тим не менше, для всіх процесів, видно скачкоподібні зміни в значеннях коефіцієнта тертя. Про це свідчить утворення вторинних структур, а надалі їх зношення.

При дослідженні температури поверхні тертя найвище значення спостерігалось при питомих натисках 15 МПа, яке становило 310°C. При натисках 10 МПа температура становила 195°C, а при 7 МПа (189 °C). Найменші значення температури були при натисках 3 МПа і становили 153°C. Однак, під час тертя на окремих мікронерівностях температура могла досягти значно вищих значень, як описано в роботі Л. Богун [10].

Висновки. Беручи до уваги, що матеріал зі складом L-7 в процесі досліджень відзначався найменшою втратою маси при великих навантаженнях, можна стверджувати, що цей матеріал можна використовувати для нанесення на робочі елементи пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання, що працюють при великих навантаженнях з метою підвищення їх зносостійкості, а в результаті і збільшення ресурсу їх роботи та терміну експлуатації. Враховуючи, що в процесі досліджень покриття системи Fe-Mn-C-B леговані Si, Ni, Cr наносили методом електродугового наплавлення, такий метод можна використовувати для часткового або повного відновлення зношених частин пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання. Беручи до уваги відносно невисоку ціну евтектичних покриттів на основі заліза, такі способи є економічно вигідними.

Література:

1. **Pashechko M., Lenik K.:** Segregation of atoms of the eutectic alloys Fe-Mn-C-B at friction wear. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 18, ISSUE 1–2, 2006, s. 467–470.
2. **Пашечко М.І, Чернець М.В., Опеляк М., Комста Г.** Поверхнєве руйнування та зміцнення матеріалів. – Львів: Євросвіт, 2005. – 384 с.
3. **Pashechko M., Lenik K.,** Segregation of atoms of the eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear, Wear 267, 2009.

4. **Bhushan B.**, *Nanotribology and Nanomechanics*, Wear 259, 2005, s. 1531.
5. **Lenik K., Pashechko M., Dzedzic K., Barszcz M.**, *Modernizacja węzła tarcowego maszyny Amslera z przystosowaniem do badań powłok z materiałów eutektycznych w układzie trzpień-tarcza*, Tribologia, Teoria i praktyka, Nr 3/2008, Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 2008, s 357-364.
6. **PN-EN ISO 6508-1**, *Metale - Pomiar twardości sposobem Rockwella - Część 1: Metoda badań (skale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)*.
7. **PN-EN ISO 6507-1**, *Metale - Pomiar twardości sposobem Vickersa - Metoda badań*.
8. **Pashechko M., Dzedzic K., Barszcz M.**, *Zmiany struktury warstwy wierzchniej powłok ze stopów eutektycznych Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr po tarciu ze stalą C45*, Inżynieria powierzchni, 1/2012 s. 28-32.
9. **Pashechko M., Gorecki T.**, *Konstituowanie warstw wierzchnich odpornych na zużycie ściernie ze stopów eutektycznych na podstawie układu równowagi fazowej Fe-Mn-C-B*, Technologiczne systemy informacyjne w inżynierii produkcji i kształceniu technicznym // Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2001, s. 379-387.
10. **Богун Л.І.** Утворення вторинних структур в парах тертя боровмісні евтектичні покриття – сталь та їх вплив на триботехнічні характеристики: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.02.04 – ХНУ, Хмельницький 2006.-21с.