

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ЕВТЕКТИЧНИХ Si, Ni, Cr - ЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Fe-Mn-C-B, ПРИЗНАЧЕНИХ ПІДВИЩИТИ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ

У сучасному світі при ліквідації пожеж та наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, рятувальні підрозділи змушені працювати у надзвичайно складних та небезпечних умовах. За таких обставин від якості та надійності пожежної техніки та обладнання, які використовуються рятувальниками, може залежати не тільки життя потерпілих, а й їх власне. На даний час у аварійно-рятувальних підрозділах часто використовується техніка 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 цей матеріал можна використовувати для нанесення на робочі органи пожежної техніки та 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, тертя, зносостійкість.

Т.Г. Бережанский

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ Si, Ni, Cr- ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Fe-Mn-C-B, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ПОВЫСИТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РОБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

В современном мире при ликвидации пожаров и последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, спасательные подразделения вынуждены работать в чрезвычайно сложных и опасных условиях. При таких обстоятельствах от качества и надежности пожарной техники и оборудования, которые используются спасателями, может зависеть не только жизнь пострадавших, но и их собственное. В настоящее время в аварийно-спасательных подразделениях часто используется оборудование, которое является частично изношенными и в которых вышел срок эксплуатации или ресурс работы. Выведено эвтектический материал, который в процессе исследований отмечался наименьшей потерей массы при больших нагрузках, можно утверждать, что этот материал можно использовать для нанесения на рабочие органы пожарной техники и оборудования, работающих при больших нагрузках с целью повышения их износостойкости, а в результате увеличения ресурса их работы и срока эксплуатации.

Ключевые слова: пожарная техника, эвтектические покрытия, трение, износостойкость.

T.G. Berezhanskyi

ANALYSIS OF PROPERTIES OF COATINGS BASED ON EUTECTIC Si, Ni, Cr-DOPED ALLOYS OF Fe-Mn-C-B, INTENDED TO RAISE RESISTANCE OF WORKING ELEMENTS OF FIRE EQUIPMENT

Nowadays in order to suppress fire and respond to the effects of natural and man-made disasters, rescue units have to work in extremely difficult and dangerous conditions. In such circumstances, both their lives and the lives of injured people rely on the quality and reliability of fire-fighting and rescuing equipment used by rescuers. Currently in emergency departments they often use equipment that is partially worn out and/or expired. Eutectic coating revealed that in process research marked the lowest mass loss at high loads, it can be argued that this material can be used for drawing on the working bodies of fire equipment and equipment that operate at high loads in order to increase their durability and life by increasing their work and working life.

Keywords: Fire appliances, eutectic coating, friction, wear resistance.

Постановка проблеми. У сучасному світі при гасінні пожеж та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, рятувальні підрозділи змушені працювати у надзвичайно складних та небезпечних умовах. За таких обставин від якості та надійності пожежної техніки та обладнання, які використовуються рятувальниками, може залежати не тільки життя потерпілих, а й їх власне. На даний час у аварійно-рятувальних підрозділах часто використовується техніка та обладнання, які є частково зношеними та у яких вийшов термін експлуатації або ресурс роботи. Придбання нової техніки та обладнання та повна заміна всіх зношених деталей є надзвичайно економічно затратним. Тому розробка покриттів, які дали б змогу підвищити зносостійкість робочих органів пожежної техніки та обладнання та давали б змогу відновлювати частково зношені частини, є актуальним завданням.

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

Аналіз останніх досліджень. Аналізуючи порошкові матеріали та зносостійкі покриття, 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 у все більшій кількості робіт присвячених питанням контакту тертя, береться до уваги явище саморганізації [3]. Самоорганізація або самоупорядкування (ang. self-organisation, self-assembly) являє собою явище, в якому елементи складної системи є спонтанно впорядкованими [4].

На перебіг процесу тертя сильно 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, здійснено вибір матеріалів необхідних для отримання зносостійких покриттів. Об'єктом дослідження були покриття, отримані методом дугового наплавлення в газовій оболонці при використанні порошкових дротів, вироблених із наплавленого евтектичного металу. Поверхневі покриття досліджувались до та після трибологічних тестів.

Для вивчення фрикційного зносу евтектичних сплавів використано змодифікований триботестер Амслера [5].

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

Вимірювання мікротвердості покриття проводили з використанням мікротвердоміра ZWICK 3212002/00. Мікротвердість вимірювали на поперечному перерізі на різних глибинах. Вимірювання полягало в углибленні алмазу Вікерса. Навантаження були виконані з урахуванням PN-EN 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, з погляду евтектичності, нанотвердість і модуль Юнга виміряно на поверхні зразків перед і після тертя. Вимірювання полягало у втисканні (втискач Берковіча) алмазом 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 взято до уваги дані, що стосуються отримання евтектичних сплавів [8, 9]. Потім, 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	3,16	2,80	1,60-1,80	1,99	1,70	1,60	1,63
Si	2,15	2,30	2,67	2,70	2,32	1,91	2,46
Mn	13,98	10,75-13,04	0,17	5,77	3,12	5,94	7,29
Cr	10,53	10,97	16,28	13,92	15,89	15,35	16,24
Ni	12,42	8,36	8,25	11,00	10,50	10,21	17,68
B	1,88	1,96	1,94	2,13	2,19	2,24	1,79
Fe	решта						

Властивості наплавлених покриттів залежать не тільки від складу наплавленого металу, але також і від технології наплавлення, яка може значно змінити структуру матеріалу наплавлення, 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 легованих 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 відкинуто 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 легованих Si, Ni, Cr досліджена твердоміром Роквелла. Результати, представлені на рисунку 1.

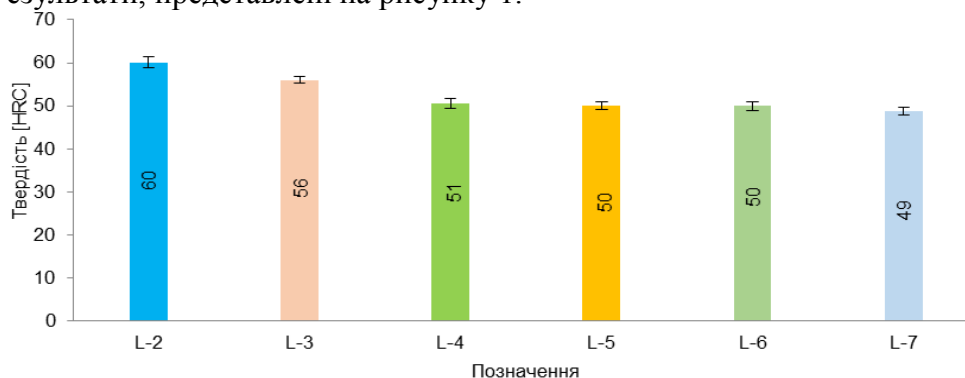


Рисунок 1 – Твердість покриттів евтектичних сплавів з Fe-Mn-C-B легованих Si, Ni, Cr

Отримано такі 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 2,8% маси і низький вмістом нікелю 8,36% 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 визначення покриття з евтектичного сплаву, яке характеризується найменшим зношенням тертя.

Випробування проводилися при різних питомих натисках 3, 7, 10 і 15 МПа. Натомість решта параметрів перийнято 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. Проте, 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 показано на рисунку 2.

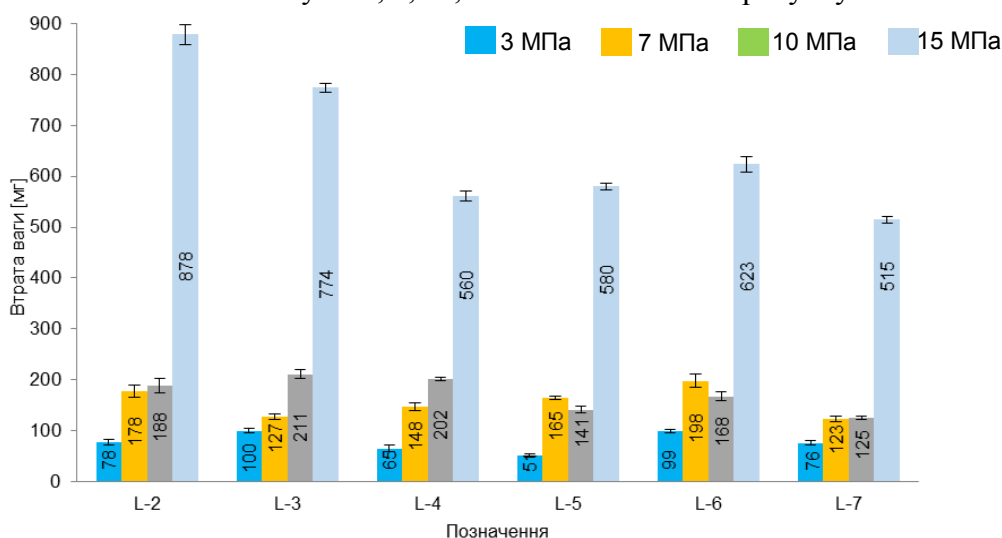


Рисунок 2 – Відношення втрати маси зразків при питомих натисках 3, 7, 10, 15 МПа для покриттів з евтектичних сплавів Fe-Mn-C-B легованих Si, Ni, Cr

Для евтектичного 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. Натомість, 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.

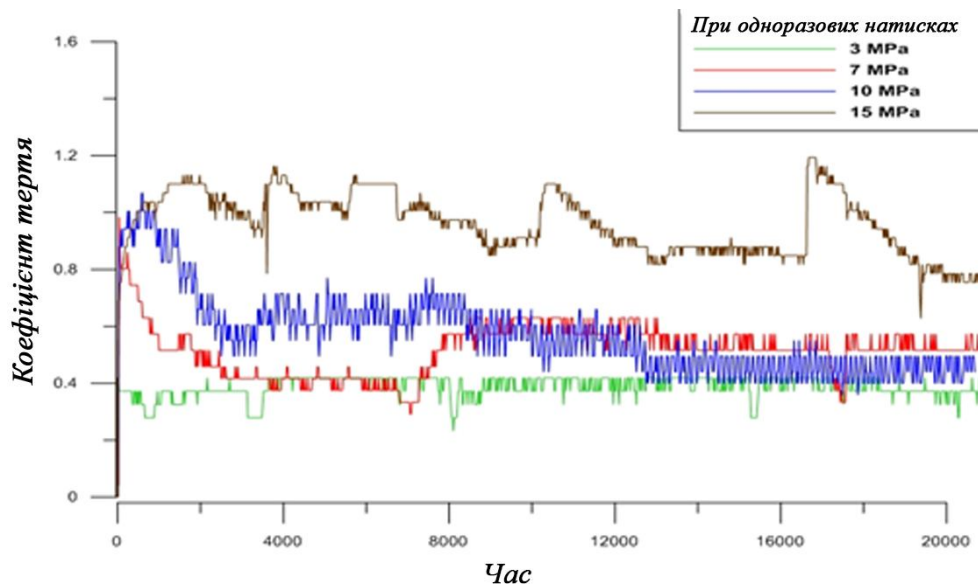


Рисунок 3 – Процес зміни коефіцієнта тертя для евтектичного покриття зі складом покриття L-7 при питомих натисках 3, 7, 10, 15 МПа

Як показано на рисунку 3, коефіцієнт тертя при питомому натиску 15 МПа різко зростає, досягаючи максимального значення 1,1, натомість середнє значення цілого випробування – 0,94. При всіх питомих навантаженнях у першому етапі видно скачкове зростання коефіцієнта тертя. На наступному етапі, 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.

Під час досліджень температури 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 °С). Найменші значення температури були при натисках 3 МПа і становили 153°C. Однак, під час тертя на окремих мікронерівностях температури могла досягти значно вищих значень, як описано в роботі Л. Богун [10].

Висновки. Враховуючи, 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 органи пожежної техніки та обладнання, які працюють при великих навантаженнях з метою підвищення їх зносостійкості, а в результаті і збільшення ресурсу їх роботи та терміну експлуатації. Враховуючи, що в процесі дослідження евтектичні 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 обладнання. Беручи до уваги відносно невисоку ціну евтектичних покриттів на основі заліза, такі способи є економічно вигідними.

Список літератури

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. Поверхневе 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., Dziedzic 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., Dziedzic K., Barszcz M., *Zmiany struktury warstwy wierzchniej powłok ze stopow 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.

References

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. Pashechko, M. I., Chernets, M. V., Opelyak M., Komsta G. (2005) *Poverkhneve ruynuvannya ta zmichnennya materialiv [Surface destruction and strengthening materials]*, Ewroswit, Lvov, Ukraine.
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., Dziedzic 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, *Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 1: Test method*.
7. PN-EN ISO 6507-1, *Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method*.
8. Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M., *Zmiany struktury warstwy wierzchniej powłok ze stopow 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., *The constitution of the surface layer wear-resistant alloys based on the eutectic phase equilibrium Fe-Mn-CB*, Technological Systems in Production Engineering and technical education // Lublin Science Society, Lublin 2001, p. 379-387.
10. Bogun L.I. (2006) *The formation of secondary structures in friction pairs containing boron eutectic coating – steels and their impact on tribotechnical characteristics*. Thesis abstract for Cand. Sc. (Engineering). 05.02.04. Khmelnytskyi National University. Khmelnytskyi. Ukraine.