

*Т.Г. Бережанський, О.І. Башинський, канд. техн. наук, доцент  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ ТА ТОПОЛОГІЇ ЗАХИЩЕНОЇ ЗНОСОСТІЙКИМ ПОКРИТТЯМ ФРИКЦІЙНОЇ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ МЕХАНІЗОВАНОГО ПОЖЕЖНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

На сучасному етапі розвитку суспільства під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, рятувальні підрозділи змушені працювати у складних та небезпечних умовах. За таких обставин від якості та надійності пожежної техніки та обладнання, які використовуються рятувальними підрозділами, може залежати життя та здоров'я потерпілих та рятувальників. Сьогодні у пожежно-рятувальних підрозділах України часто використовуються техніка та обладнання, у яких вийшов термін експлуатації або ресурс роботи та деталі і робочі органи яких є частково зношеними. При дослідженнях мікротвердості спостерігаються більші відбитки втискача у вихідному матеріалі ніж в покритті. Це свідчить про більшу мікротвердість покриття. Мікроструктура зразків і контрзразків підлягає пластичній деформації. Це впливає на стехіометрію утворених структур. Проведені дослідження дозволяють 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.

**Ключові слова:** мікротвердість, пожежна техніка, евтектичне покриття, тертя, зносостійкість.

*Т.Г. Бережанский, О.И. Башинский*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ И ТОПОЛОГИИ ЗАЩИЩЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ ФРИКЦИОННОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ПОЖАРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

На современном этапе развития общества во время тушения пожаров и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, спасательные подразделения вынуждены работать в сложных и опасных условиях. При таких обстоятельствах от качества и надежности пожарной техники и оборудования, которые используются спасательными подразделениями, может зависеть жизнь и здоровье пострадавших и спасателей. Сегодня в пожарно-спасательных подразделениях Украины часто используются оборудование, в которых вышел срок эксплуатации или ресурс работы и детали и рабочие органы которых частично изношенными. При исследованиях микротвердости наблюдаются большие отпечатки втискача в материале чем в покрытии. Это свидетельствует о большей микротвердость покрытия. Микроструктура образцов и контрзразкив подлежит пластической деформации. Это влияет на стехиометрию образованных структур. Проведенные исследования позволяют 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 и увеличение ресурса их работы и срока эксплуатации.

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

## RESEARCH MICROHARDNESS AND TOPOLOGY RESERVED FRICTION WEAR-RESISTANT COATINGS FIRE-OPERATED WORKING SURFACE TOOLS

In modern society while fighting fires and emergencies of natural and man-made disasters, rescue units have to work in difficult and dangerous conditions. In such circumstances, the quality and reliability of fire-fighting equipment and equipment used by rescue units may depend on the life and health of victims and rescuers. Today, the fire and rescue units Ukraine frequently used equipment, which came lifetime or service life of parts and working bodies which are partially worn. In studies of microhardness observed vtyskacha larger prints than in the material in the coating. This indicates greater microhardness coating. The microstructure of samples and kontrzrazkiv subject to plastic deformation. This affects the stoichiometry formed structures. Our studies suggest that this material can be used for drawing on the working bodies of fire equipment and equipment that operate at high loads to improve their durability, as a result, increase their work life and working life.

**Keywords:** microhardness, Fire Appliances, eutectic coating, friction, wear resistance.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку суспільства 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 рятувальними підрозділами, може залежати не тільки життя потерпілих, а й життя та здоров'я рятувальників. На сьогоднішній день у пожежно-рятувальних підрозділах України часто використовується техніка та обладнання, у яких вийшов термін експлуатації або ресурс роботи та деталі і робочі органи яких є частково зношеними. Придбання нової техніки та обладнання та повна заміна всіх зношених деталей є надзвичайно економічно затратним. Тому розробка та нанесення покриттів, які дали б змогу підвищити зносостійкість робочих органів пожежної техніки та обладнання та дозволяли б відновлювати частково зношені частини, є актуальним завданням.

**Метою роботи** є дослідження зносостійкості покриття із наперед заданими властивостями, для нанесення на окремі робочі органи пожежної та аварійно-рятувальної техніки і обладнання з метою збільшення ресурсу їх роботи.

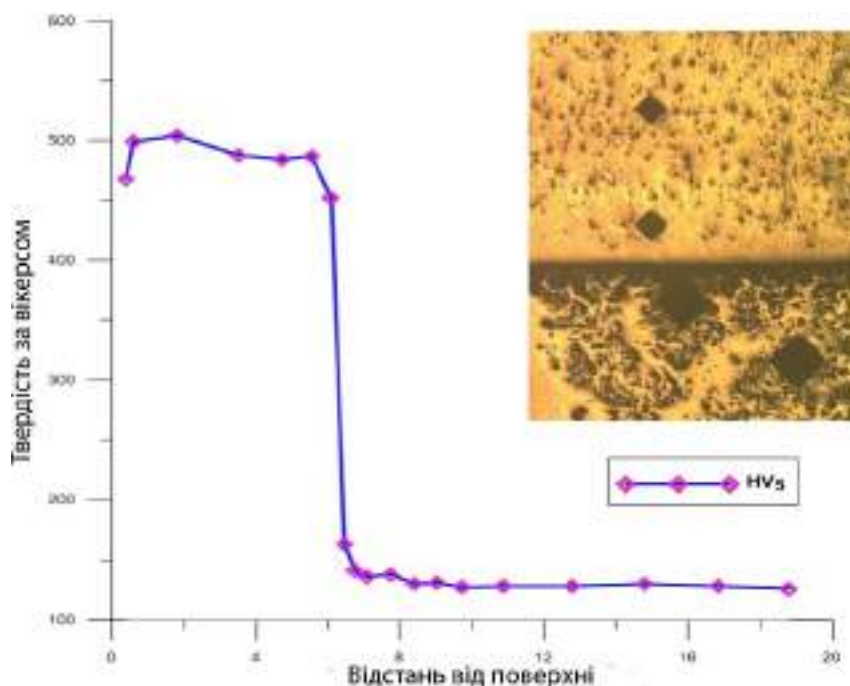
**Аналіз останніх досліджень.** Аналізуючи порошкові матеріали та зносостійкі покриття, які широко використовуються у промисловості, встановлено, що розроблені проф. М.І. Пашечком евтектичні покриття системи Fe – Mn – C – B – Si – Ni – Cr [1], які можна наносити на поверхню металів методом плазмового 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].

**Вклад основного матеріалу.** Одним з перспективних шляхів для підвищення зносостійкості деталей машин і механізмів є створення і нанесення захисних евтектичних покриттів (ЕП). На основі [3] для подальших досліджень вибрано матеріал зі складом L-7, який в процесі досліджень відзначався найменшою втратою маси при великих навантаженнях.

**Методи досліджень.** Вимірювання мікротвердості покриття проводили з використанням мікротвердоміра ZWICK 3212002/00. Мікротвердість вимірювали на поперечному перерізі на різних глибинах. Вимірювання полягало в заглибленні алмазу Вікерса. Навантаження були виконані з урахуванням PN-EN ISO 6507-1 [4]. Поверхню тертя піддано мікроскопічному спостереженню. Метою мікроаналізу було дослідження топографії поверхні використовуваних зразків і контрзразків після трибологічних випробувань. Спостереження мікроструктури зразків проводили з використанням металографічного мікроскопа Nikon Eclipse MA 200 (поверхня від  $\times 100$ ). Зображення були отримані в цифровій формі і оброблені з використанням програми NIS-Elements. Спостереження мікроструктури контрзразків здійснювали з використанням металографічного мікроскопа Nikon Shuttle Pix P-400R. Дослідження профілю поверхні здійснено за допомогою голкового поліграфа профілографа Surtronic 3+ (виробництва Taylor and Hobson). Сканування поверхні виконувалось на вимірюваному відрізьку дов-

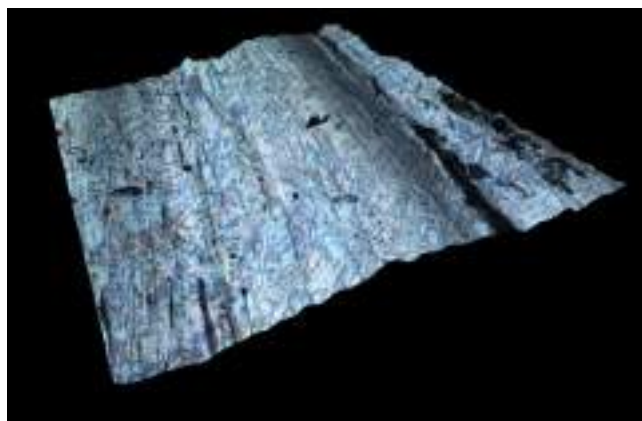
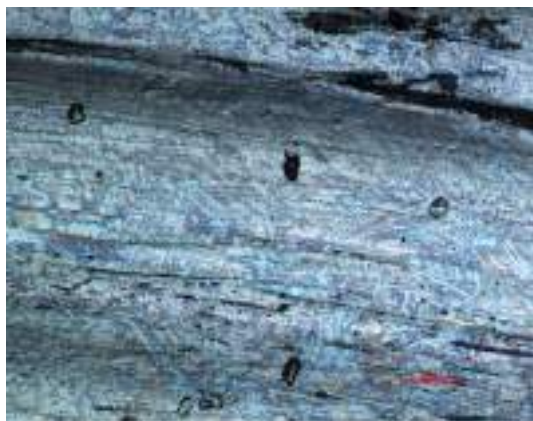
жиною 4 мм. Елементарний відрізок шорсткості 0,8 мм. Профілеграфічні вимірювання на зразках і контрзразках здійснювались в напрямку перпендикулярному до напрямку ковзання. Зареєстровано основні параметри поверхні профілю відповідно до ISO 4288 та ISO 1879 [5, 6]. Дослід був повторений 5 разів. Потім визначалось середнє значення параметра шорсткості Ra, а також стандартне відхилення.

Результати досліджень. Під час мікроструктурних досліджень виміряно мікротвердість покриття, використовуючи мікротвердомір ZWICK 3212002/00. Виміри проводилися згідно з [4]. Навантаження 50 г. Розподіл мікротвердості від поверхні зразка представлений на рис. 1.



**Рисунок 1** – Розподіл мікротвердості

Мікротвердість для евтектичного покриття змінювалась в діапазоні 452-504 HV<sub>50</sub>. Мікротвердість перехідної зони 136-163 HV<sub>50</sub>, серцевини 126-131 HV<sub>50</sub>. Найвищий результат отримано на відстані 1,82 мм від поверхні – 504 HV<sub>50</sub>. Зміна мікротвердості покриттів підтверджує гетерогенність їх структури. Вигляд наплавленого шару після дослідження мікротвердості представлено на рис. 2. На рисунку чітко видно більші відбитки втискача у вихідному матеріалі, ніж в покритті. Це свідчить про більшу мікротвердість покриття.



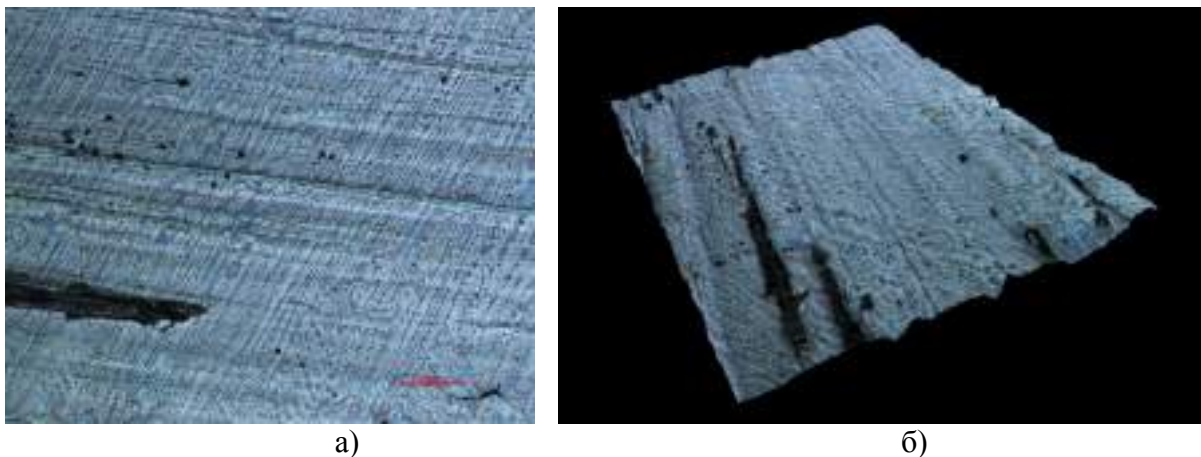
а)

б)

**Рисунок 2** – Вигляд поверхні покриття з евтектичного сплаву після тертя за питомого тиску 3 МПа: зображення поверхні (а), топографія поверхні (б)  $\times 100$

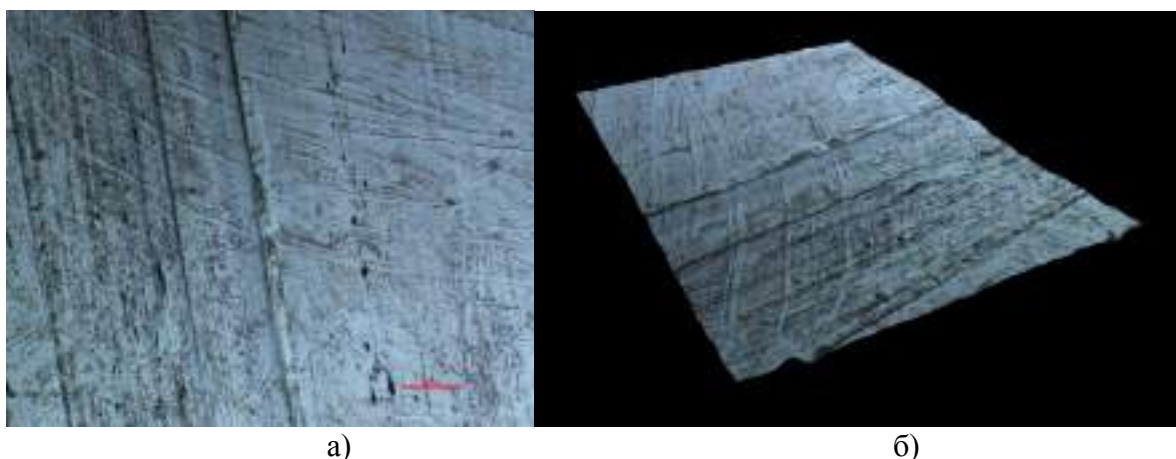
Дослідження топографії поверхні тертя. На наступному етапі проведених робіт поверхню після тертя було піддано мікроскопічному дослідженню за допомогою оптичного мікроскопа Nikon Eclipse MA 200. Водночас досліджено основні параметри профілю з використанням профілографометра Surtronic 3+. Досліджено топографію поверхні після тертя проведеного за питомих тисків 3, 7, 10, 15 МПа. Їх порівняно з результатами, отриманими перед тертям. Вигляд поверхні тертя за тиску 3 МПа показано на рис. 2.

Дослідження дозволили початково налаштувати механізм зносу пари терті (покриття з евтектичного сплаву покриття Fe-Mn-C-B, легованих Si, Ni, Cr– контрзразок зі сталі 45). Поверхня після тертя за питомого тиску 3 МПа відносно гладка з помітними мікротріщинами (рис. 3 б). Параметр шорсткості  $R_a$  після тертя становив 1,198. Перед тертям параметр шорсткості  $R_a$  становив 0,579. Відбулось помітне збільшення параметра шорсткості  $R_a$ . Вигляд поверхні тертя за питомого тиску 7 МПа показаний на рис. 3.



**Рисунок 3** – Вигляд поверхні покриття з евтектичного сплаву після тертя за питомого тиску 7 МПа: вигляд поверхні (а), топографія поверхні (б)  $\times 100$

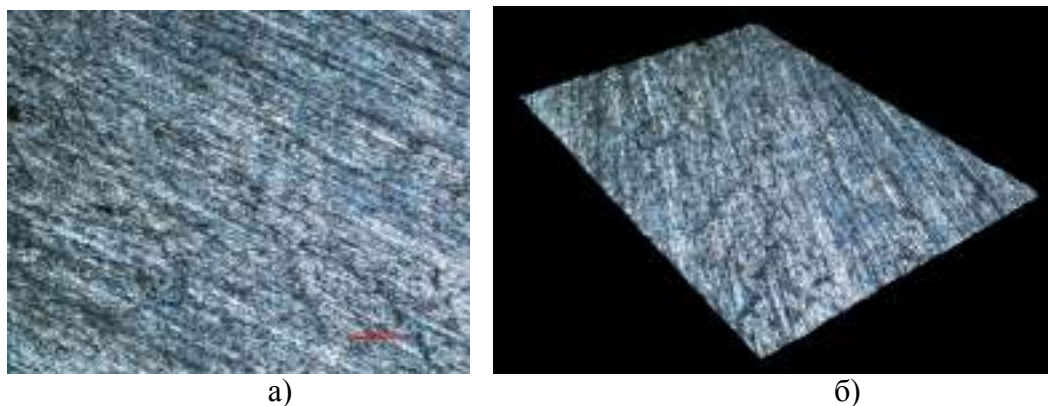
Після тертя за питомого тиску 7 МПа спостерігається зниження значення параметра шорсткості поверхні. Параметр  $R_a$  становив 0,691. Це може свідчити про усунення мікронерівностей поверхні (рис. 4 б). Вигляд поверхні тертя за питомого тиску 10 МПа показано на рис. 4.



**Рисунок 4** – Вигляд поверхні покриття з евтектичного сплаву після тертя за питомого тиску 10 МПа: вигляд поверхні (а), топографія поверхні (б)  $\times 100$

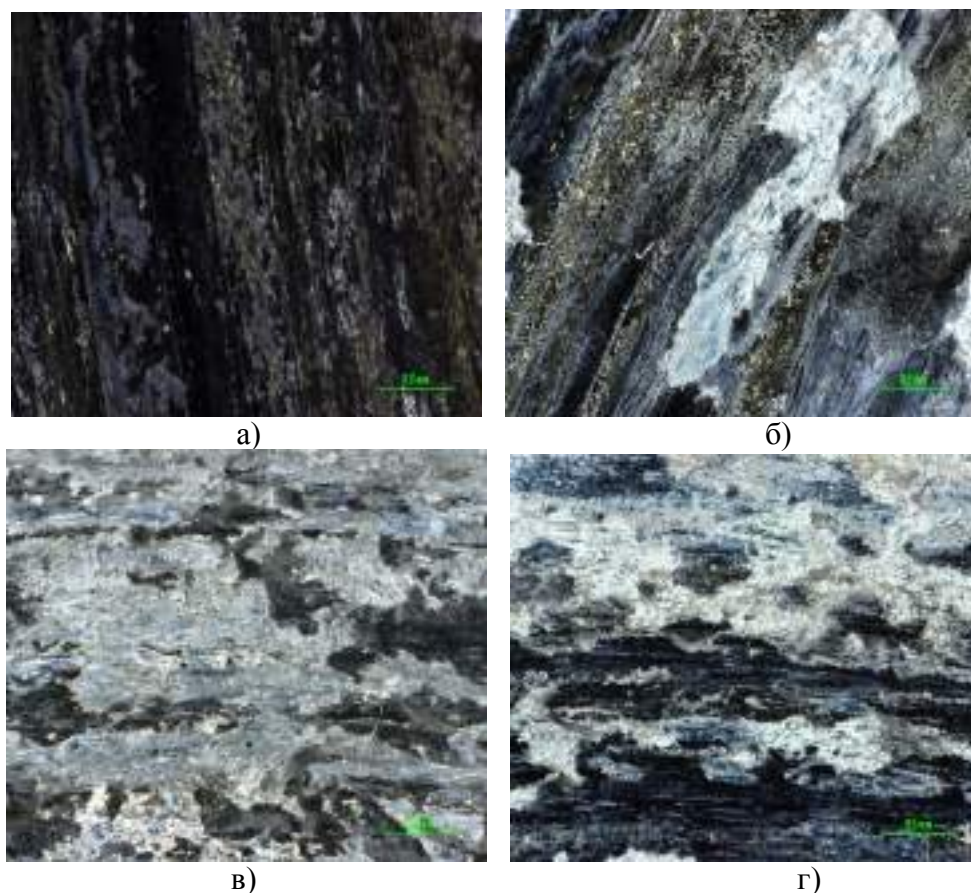


Після тертя за питомого тиску 10 МПа значення параметра шорсткості  $R_a$  є наближеним до значення параметра шорсткості при 7 МПа. Параметр  $R_a = 0,692$ . На рис 4 б) чітко видно дрібні подряпини і щілини. Можна припустити, що за питомих тисків 3, 7, 10 МПа відбувалось зношування механічно-хімічного характеру. Вигляд поверхні тертя за питомого тиску 15 МПа показаний на рис. 5.



**Рисунок 5** – Вигляд поверхні покриття з евтектичного сплаву після тертя за питомого тиску 15 МПа: вигляд поверхні (а), топографія поверхні (б)  $\times 100$

Під час трибологічних досліджень за питомого тиску 15 МПа масове зношування зразків помітно зростало. Після тертя за питомого тиску 15 МПа спостерігається подальше зменшення значення параметра шорсткості поверхні  $R_a$ . Параметр  $R_a$  становив 0,654. За більш високих тисків немає ніяких очевидних подряпин і щілини (рис. 6 б). Вигляд поверхні тертя контрзразків (відповідно до зразків) за різних питомих тисків представлено на рис. 6.



**Рисунок 6** – Вигляд поверхні контрзразків після тертя за питомих тисків 3 МПа (а), 7 МПа (б), 10 МПа (в), 15 МПа (г)

Шари, які утворилися на поверхні контрзразків, товсті і пористі. Утворення таких шарів відбувається через змішування дрібних частинок з продуктами зношування, що утворилися в процесі тертя. Параметр шорсткості контрзразків  $R_a$  становить при питомих тисках відповідно: 3 МПа ( $R_a = 1,84$ ), при 7 МПа ( $R_a = 2,14$ ), при 10 МПа ( $R_a = 1,01$ ) та при 15 МПа ( $R_a = 2,07$ ).

**Висновки.** Зміна мікротвердості покриттів підтверджує гетерогенність їх структури. Спостерігаються більші відбитки втискача у вихідному матеріалі, ніж в покритті. Це свідчить про більшу мікротвердість покриття. Мікроструктура зразків і контрзразків підлягає пластичній деформації. В поверхневому шарі збільшується кількість дефектів кристалічних решіток. Це впливає на стехіометрію утворених структур. Проведені дослідження дозволяють 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. Беручи до уваги відносно невисоку вартість 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/ M. Pashechko, K. Lenik // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2006. – Volume 18. – С. 467–470.
2. Поверхнєве руйнування та зміцнення матеріалів / [М.І. Пашечко, М.В. Чернець, М. Опеляк, Г. Комста] – Львів : «Євросвіт», 2005. – 384 с.
3. Бережанський Т.Г. Дослідження властивостей покриттів на основі евтектичних Si, Ni, Cr - легованих сплавів системи Fe-Mn-C-B, призначених підвищити зносостійкість робочих органів пожежної техніки / Т.Г. Бережанський // Пожежна безпека: збірник наукових праць. – 2015. – №26. – С. 13–18.
4. ISO 6507-1, Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method.
5. ISO 4288, Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture.
6. ISO 1879, Instruments for the measurement of surface roughness by the profile method – Vocabulary.
7. 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 zmichennya materialiv [Surface destruction and strengthening materials], Ewroswit, Lvov, Ukraine.
3. Berezhanyskyj T. (2014) “ Investigation of properties coatings based on eutectic si, ni, cr- doped alloys of fe-mn-c-b, to raise intended wear resistance bodies working fire equipment” Zbirnyk naukovykh prac “Pozhezhna bezpeka” vol. 1, no. 26, pp. 13-18.
4. ISO 6507-1, Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method.
5. ISO 4288, Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture.
6. ISO 1879, Instruments for the measurement of surface roughness by the profile method – Vocabulary.
7. 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.