

УДК 669.018.25

М. І. ПАШЕЧКО<sup>1</sup>, Т. Г. БЕРЕЖАНСЬКИЙ<sup>2</sup><sup>1</sup>Люблінський політехнічний інститут, Державний університет імені Шимона Шимоновича в місті Замость, Польща<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

## ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Для виконання завдання з метою рятування людей і матеріальних цінностей рятувальниками ДСНС використовується різноманітне обладнання та спеціальні засоби, від надійності яких залежить не тільки життя потерпілих, а й самих 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. Використання захисних покриттів на основі евтектичних сплавів Fe-Mn-C-B-Si легованих Cr дозволяє підвищити зносостійкість пожежної та аварійно-рятувальної техніки. Нанесення цих матеріалів методом наплавлення GMA (MAG) дозволяє відновлювати частково зношені, або пошкоджені робочі елементи та деталі, що є більш економічно-вигідним ніж заміна цих деталей на нові. Наплавлене захисне покриття має високу адгезію з матеріалом підкладки. В наплавленому шарі не виявлено відшарувань та значних дефектів. Відновлення зношених робочих органів аварійно-рятувального інструменту евтектичним покриттям на основі системи Fe-Mn-C-B-Si легovanого Cr дозволила збільшити їх зносостійкість ~ у 1,8 разів.

**Ключові слова:** зношування, евтектичні покриття, пожежне обладнання

**Вступ.** Сьогодні в Україні завдання рятування людей та матеріальних цінностей під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру покладено на рятувальні підрозділи ДСНС. Для виконання цих завдань рятувальники використовують різноманітне обладнання та спеціальні засоби, від надійності яких залежить не тільки життя потерпілих, а й самих рятувальників.

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».

Забезпечення аварійно-рятувальних підрозділів новою технікою та обладнанням, а також повна заміна всіх зношених деталей є надзвичайно матеріально затратними. Тому розробка методів підвищення зносостійкості та збільшення ресурсу роботи робочих органів пожежної техніки та аварійно-рятувального обладнання, а також відновлення частково зношених, або пошкоджених частини, є актуальним завданням на сьогодні.

**Метою роботи** є визначення якості наплавлення зносостійкого евтектичного захисного покриття на робочих органах гідравлічних ножиць. Проведення експлуатаційних випробувань та порівняння зносостійкості наплавлених ножів із ножами серійного виробництва.

**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 дугового, плазмового наплавлення та методом напилення, а також 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 [2–4; 8].

**Матеріали та методика досліджень.** На основі досліджень масового зношування, твердості, мікротвердості та нанотвердості евтектичних сплавів на основі системи Fe-Mn-C-B-Si легованих Cr [1-5], для підвищення зносостійкості, ресурсу роботи та довговічності робочих органів аварійно-рятувальних гідравлічних ножиць Н-32 фірми «Гідрум» (ніж та упор), було обрано матеріал зі складом порошкового дроту в мас%: Mn – 11,37; C – 0,9; B – 2,7; Si – 2,48; S – 0,09; P – 0,028; Cr – 18,2; Fe – решта. Склад матеріалу порошкового дроту подано на отримання патенту. Даний матеріал відзначався найменшим масовим зношуванням при великих навантаженнях в порівнянні з іншими.

Для оцінки якості наплавленого покриття використано метод комп'ютерної томографії. Метод використовується в промисловості для неруйнівного контролю NDT. Комп'ютерна томографія КТ (анг. Computed Tomography) являє собою тип рентгенівської спектроскопії, який використовується в якості діагностичного методу, який дозволяє отримувати зображення досліджуваних наплавлених матеріалів [6]. Метою використання КТ є визначення якості зварювання, кількості дефектів, їх розташування і розміру [7]. Для отримання наплавлених шарів використано метод зварювання порошковими дротами в газовій оболонці аргону TIG (ang. tungsten inert gas).

Якість одержаного наплавленого шару досліджено за допомогою методу комп'ютерної томографії. Оцінка внутрішніх недоліків структури і внутрішніх дефектів, була виконана з використанням комп'ютерного томографа X25 (North Star Imaging). Дослідження полягало в скеруванні по досліджуваній об'єкт пучка Х-випромінювання і реєстрації його інтенсивності з іншого боку, на панелі детекторів. Х-випромінювання, що проходить через досліджуваний об'єкт, зазнає ослаблення, що є функцією енергії випромінювання, типу і товщини досліджуваного матеріалу та наявності в ньому дефектів, пор, тріщин і пустот. В результаті проєкції виконаної з різних напрямків, отримано зображення площинні (2D) і просторові (3D). Аналіз об'єкту дозволив здійснити детальну локалізацію внутрішніх дефектів.

**Результати досліджень.** На основі проведених експериментальних досліджень наплавлених шарів проведено кількісну і якісну оцінку внутрішніх дефектів. Виявлено виникнення внутрішніх дефектів у вигляді пор та кратерів. Пористість наплавленого шару обумовлена утворенням бульбашок в металі під час його затвердіння. Тріщин та відшарувань від матеріалу підкладки не виявлено. Вигляд топографії поверхні ножа ножиць Н-32 з захисним покриттям представлено на рис. 1.

По всій довжині наплавленого шару виявлено тільки одну пору розміром 1,155 мм (рис. 1, б).

Вигляд топографії поверхні упора ножиць Н-32 з захисним покриттям представлено на рис. 2.

Наступним етапом було проведення дослідження зміцнених ножів і серійного виробництва в процесі експлуатації.

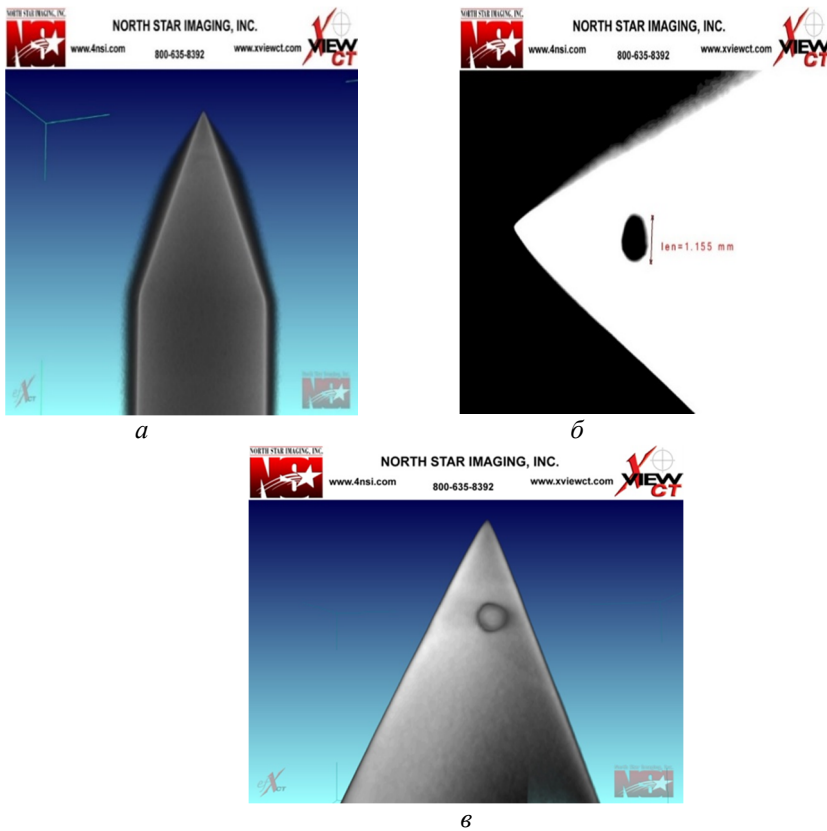


Рис. 1. Томографія поверхні ножа ножиць Н-32 з захисним покриттям: *а* – вигляд наплавлення; *б* – зображення порожнини у рентгенівському випромінюванні; *в* – аналіз усіх дефектів наплавлення по глибині



Рис. 2. Томографія поверхні упора ножиць Н-32 з захисним покриттям

Суть експериментального дослідження полягає у порівнянні зношування ріжучих елементів гідравлічних аварійно-рятувальних ножиць «Гідрум Н-32» серійного виробництва та ножиць із нанесеним захисним евтектичним покриттям, мас. %: Mn – 11,37; C – 0,9; B – 2,7; Si – 2,48; S – 0,09; P – 0,028; Cr – 18,2; Fe – решта. Під час проведення експериментальних досліджень збірками здійснюється перерізання сталевих арматур марки А-500 діаметрами 8 мм.

Результати випробувань. Характеристика поверхні зношування.

1. Перед дослідженням. Поверхні обох взірців є цілісними та гладкими. Дефектів поверхні зношування не виявлено. Загальний вигляд ріжучих елементів перед дослідженням представлено на рис. 3.

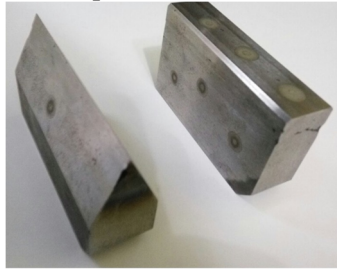


Рис. 3. Загальний вигляд ріжучих елементів перед дослідженням

2. Після 50-го різання. Поверхні обох взірців характеризуються появою незначних вм'ятин та відколюванням частин ріжучої поверхні розміром не більше 0,1 мм.

3. Після 200-го різання. Поверхня ріжучого елемента серійного виробництва характеризується наявністю більшої кількості вм'ятин та дефектів поверхні різання у порівнянні з ріжучим елементом із захисним евтектичним покриттям. Загальний вигляд ріжучих елементів після 200-го різання представлено на рис. 4. На рис. 5 та 6 представлено поверхні взірців після 200-го різання із збільшенням  $a - \times 10$ ,  $b - \times 25$ .

4. Після 500-го різання. Поверхня ріжучого елемента серійного виробництва характеризується збільшенням кількості дефектів та вм'ятин поверхні різання та збільшення зусиль необхідних для різання. Поверхня ріжучого елемента із захисним евтектичним покриттям характеризується незначним збільшенням вм'ятин та дефектів поверхні різання.

5. Після 800-го різання. Поверхня ріжучого елемента серійного виробництва характеризується наявністю великої кількості вм'ятин та дефектів, значним притупленням ріжучої поверхні та значним збільшенням зусиль для різання. Поверхня ріжучого елемента із захисним евтектичним покриттям характеризується збільшенням вм'ятин та дефектів поверхні різання.

6. Після 1000-го різання. Після 863 різання ріжучим елементом серійного виробництва різання припинено, оскільки зусиль гідравлічного насосу було недостатньо для перерізання арматури. Поверхня ріжучого елемента серійного виробництва характеризується наявністю великої кількості вм'ятин та дефектів, значним притупленням ріжучої поверхні. Поверхня ріжучого елемента із захисним евтектичним покриттям після 863-го різання характеризується збільшенням кількості вм'ятин та дефектів поверхні різання, а також незначним притупленням ріжучої поверхні та збільшенням зусиль для різання. Після 1507-го різання перетинання взірцем із захисним покриттям припинено, оскільки зусиль гідравлічного насосу було недостатньо для перерізання арматури. Поверхня ріжучого елемента із захисним покриттям характеризується появою великої кількості вм'ятин та дефектів, значним притупленням ріжучої поверхні. На рис. 7 представлено вигляд ріжучого елемента серійного виробництва після 863 різання із збільшенням  $a - \times 10$ ,  $b - \times 25$ . На рис. 8 представлено поверхні взірців із наплавленим захисним покриттям після 1507-го різання із збільшенням  $a - \times 10$ ,  $b - \times 25$ .

*a**б*

Рис. 4. Загальний вигляд ріжучих елементів після 200-го різання  
*a* – ніж із наплавленим покриттям; *б* – ніж серійного виробництва

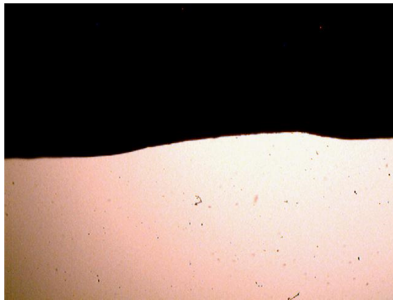
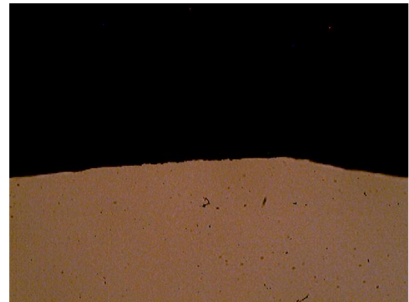
*a**б*

Рис. 5. Поверхні взірців серійного виробництва після 200-го різання із збільшенням: *a* –  $\times 10$ , *б* –  $\times 25$

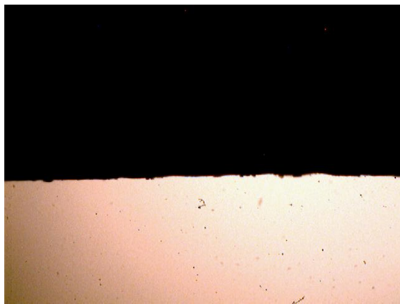
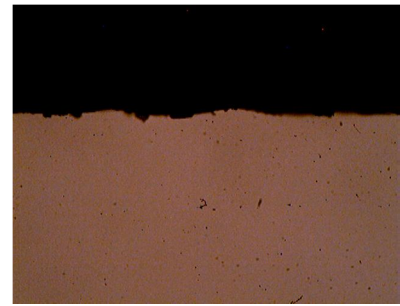
*a**б*

Рис.6. Поверхні взірців із наплавленим покриттям після 200-го різання із збільшенням *a* –  $\times 10$ , *б* –  $\times 25$

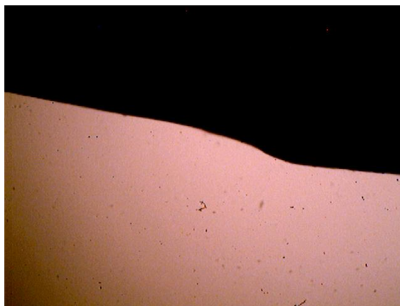
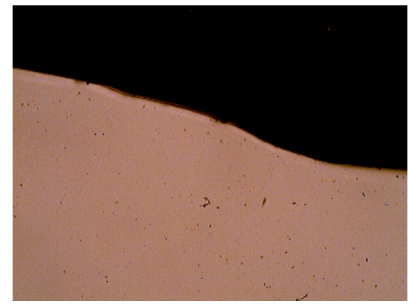
*a**б*

Рис. 7. Поверхні взірців серійного виробництва після 863-го різання із збільшенням *a* –  $\times 10$ , *б* –  $\times 25$

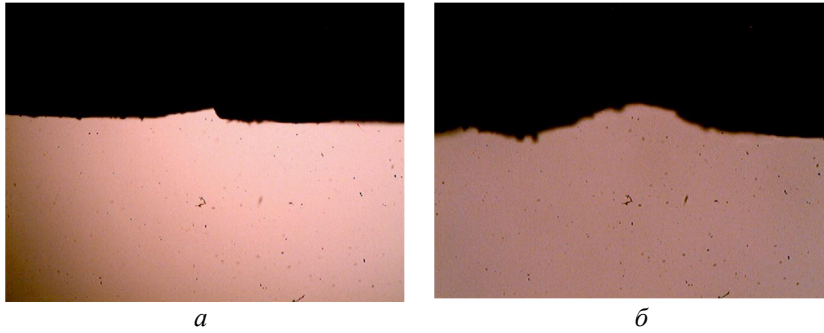


Рис. 8. Поверхні зрізів із наплавленим захисним покриттям після 1507-го різання із збільшенням  $a - \times 10$ ,  $b - \times 25$

Після проведення експерименту встановлено, що ножі серійного виробництва після 863-го різання характеризується наявністю великої кількості вм'ятин та дефектів, значним притупленням ріжучої поверхні, що унеможливує їх подальшу експлуатацію. Поверхня ріжучого елемента із наплавленим захисним евтектичним покриттям після 863-го різання характеризується наявністю вм'ятин та дефектів поверхні різання, а також незначним притупленням ріжучої поверхні, проте подальша експлуатація цілком можлива. Їх подальша експлуатація стає неможливою після 1507-го різання. Таким чином можна стверджувати, що зріз із захисним покриттям працює  $\sim$  в 1,8 разів довше ніж зріз серійного виробництва.

**Висновки.** Отримані результати досліджень вказують на те, що покриття з евтектичного сплаву Fe-Mn-C-B-Si легovanого Cr можуть бути використані для відновлення та зміцнення робочих органів пожежного та аварійно-рятувального інструменту, які працюють в умовах великих навантажень і відсутності мащення. Наплавлений шар не відшаровується, а матеріал підкладки не містить значних дефектів. Нанесення захисних евтектичних покриттів на основі системи Fe-Mn-C-B-Si легovanаних Cr наножі гідравлічних аварійно-рятувальних ножиць Н-32 дозволили збільшують їх зносостійкість у 1,8 разів.

Дане покриття можна застосовувати також на інших ріжучих, подрібнюючих та роздроблюючих елементах пожежного та аварійно-рятувального обладнання. Беручи до уваги відносно невисоку вартість евтектичних покриттів на основі заліза, відновлення та зміцнення з використанням евтектичних матеріалів є економічно вигідним [1–5; 8].

#### Список літератури:

1. M. Pashechko, K. Lenik. Segregation of atoms of the eutectic alloys Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear. –Wear. 267 (2009), pp. 1301–1304.
2. M. Pashechko. Wear resistance of eutectic coatings of the Fe-Mn-C-B system alloyed with Si, Ni and Cr. –Materials Science, 2011, V. 46, Number 5. –S. 695–701
3. M. Pashechko, K. Dziedzic, M. Barszcz. Study of the structure and properties of wear-resistant eutectic Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr coatings. –Powder Metallurgy and Metal Ceramics. –November 2013, Volume 52, Issue 7-8, pp. 469-476.
4. M. Pashechko, K. Dziedzic, M. Barszcz. Study of coatings obtained from alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Advances in Science and Technology Research Journal. –Volumen 10. –Nr 31.-2016. –s. 194–198.
5. Бережанський Т.Г. Дослідження властивостей покриттів на основі евтектичних Si, Ni, Cr – легovanаних сплавів системи Fe-Mn-C-B, призначених підвищити зносо-

стійкість робочих органів пожежної техніки / Т.Г. Бережанський // Пожежна безпека: збірник наукових праць. – 2015. – №26. – С. 13–18.

6. Ratajczyk E., Rentgenowska tomografia komputerowa (CT) do badań przemysłowych, *Pomiary Automatyka Robotyka*, Vol. 5, 2012, p. 104–113.

7. Hampel U., X-ray computed tomography, *Industrial Tomography, Systems and Applications*, A volume in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2015, p. 175–196.

8. M. Pashechko, M. Kindrachuk, O.Radionenko. The mechanism of friction between surfaces with regular micro grooves under boundary lubrication. –*Advances in Science and Technology Research Journal*. –Wolumen 32. –Nr 10. –2016. –s. 82–85.

Стаття надійшла до редакції 11.07.2017

**Пашечко Михайло Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри основ техніки Люблінського політехнічного інституту, Польща, м. Люблін, вул. Надбис-трицька 38 д. E-mail: mpashechko@hotmail.com.

**Бережанський Тарас Григорович** – викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, Львів, вул. Клепарівська 35, +380979790888, E-mail: berezhansky90@gmail.com

M. I. PASHECHKO, T. G. BEREZHANSKIY

### RESTORATION AND ENHANCEMENT OF EMPLOYMENT BODIES OF THE EMERGENCY-TAKING INSTRUMENT

To accomplish the task of saving people and material values, the rescuers of the DSNU use a variety of equipment and special tools, the reliability of which depends not only on the lives of victims, but also on the rescuers themselves. Today, fire and rescue units in Ukraine often use machinery and equipment that has expired or service life and parts and whose working bodies are partially worn out. The use of protective coatings based on eutectic alloys Fe-Mn-C-B-Si doped Cr can improve the wear resistance of fire and emergency rescue equipment. The application of these materials by the method of surfacing GMA (MAG) allows you to recover partly worn or damaged working elements and parts, which is more cost-effective than replacing these parts with new ones. The surfaced protective coating has a high adhesion with the substrate material. No layers and significant defects have been detected in the deposited layer. Restoration of worn working tools of the emergency rescue tool with eutectic coating on the basis of Fe-Mn-C-B-Si doped Cr system allowed to increase their wear resistance ~ 1,8 times.

**Keywords:** Wear, eutectic coatings, fire equipment

### References

1. M. Pashechko, K. Lenik. Segregation of atoms of the eutectic alloys Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear. –Wear. 267 (2009), pp. 1301–1304.
2. M. Pashechko. Wear resistance of eutectic coatings of the Fe–Mn–C–B system alloyed with Si, Ni and Cr. –Materials Science, 2011, V. 46, Number 5.–S. 695–701
3. M. Pashechko, K. Dziedzic, M. Barszcz. Study of the structure and properties of wear-resistant eutectic Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr coatings. –Powder Metallurgy and Metal Ceramics.- November 2013, Volume 52, Issue 7-8, pp. 469–476.
4. M. Pashechko, K. Dziedzic, M. Barszcz. Study of coatings obtained from alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. Advances in Science and Technology Research Journal. –Volumen 10. –Nr 31. –2016. –s. 194–198.
5. Berezhanskyj 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.
6. Ratajczyk E., Rentgenowska tomografia komputerowa (CT) do badań przemysłowych, Pomiary Automatyka Robotyka, Vol. 5, 2012, p. 104–113.
7. Hampel U., X-ray computed tomography, Industrial Tomography, Systems and Applications, A volume in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2015, p. 175–196.
8. M. Pashechko, M. Kindrachuk, O.Radionenko. The mechanism of friction between surfaces with regular micro grooves under boundary lubrication. –Advances in Science and Technology Research Journal. –Wolumen 32. –Nr 10. –2016. –s. 82–85.