

*М.І. Пашечко, д-р техн. наук, професор (Люблінський політехнічний інститут),  
Т.Г. Бережанський, В.Й. Кузиляк (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## ПОКРАЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПOKPИТТЯМИ НА ОСНОВІ ЕВТЕКТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Проведені дослідження мікроструктури поверхні тертя евтектичних покриттів системи Fe – Mn – B – C – Si – Ni – Cr, після випробувань за умови дії питомих навантажень 3, 7 та 10 МПа та сухому терті. Показано домінуючу роль окислювального механізму зношування евтектичних композиційних матеріалів. Оксидні плівки виконують роль мастила, підвищують зносостійкість покриттів та забезпечують стабільний характер тертя при важких режимах роботи. Нанесення евтектичних покриттів на ріжучі частини інструментів та на деталі агрегатів пожежної техніки, які працюють в умовах тертя при високих питомих навантаженнях та температурах дозволяє підвищити їх механічні характеристики, надійність та довговічність. Завдяки невисокій вартості евтектичних матеріалів на основі заліза нанесення покриттів є економічно доцільним.

**Ключові слова:** пожежний інструмент, евтектичне покриття, тертя, мікроструктура, деформація.

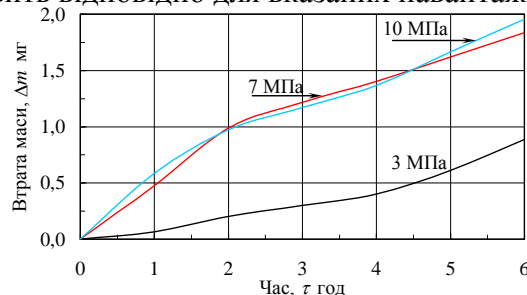
**Постановка проблеми.** Окремі механізми пожежної техніки (гідравлічні ножиці, лемеші тощо) під гасіння пожеж та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, працюють в умовах дії великих питомих навантажень, сухого тертя і високих температур. Матеріали, які використовують для виготовлення важконавантажених пар тертя часто виявляються малопридатними для експлуатації за таких складних умов. Тому створення нових матеріалів, які б мали високу надійність, зносостійкість та міцність, є актуальним завданням.

**Метою роботи** є підвищення механічних характеристик існуючих покриттів або створення нових покриттів із наперед заданими властивостями, що використовуються для нанесення на окремі механізми пожежної техніки (гідравлічні ножиці, лемеші тощо).

**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, 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 [1].

**Виклад основного матеріалу.** На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень показано доцільність використання евтектичних покриттів системи Fe – Mn – B – C – Si – Ni – Cr при експлуатації у важких режимах за умов сухого тертя.

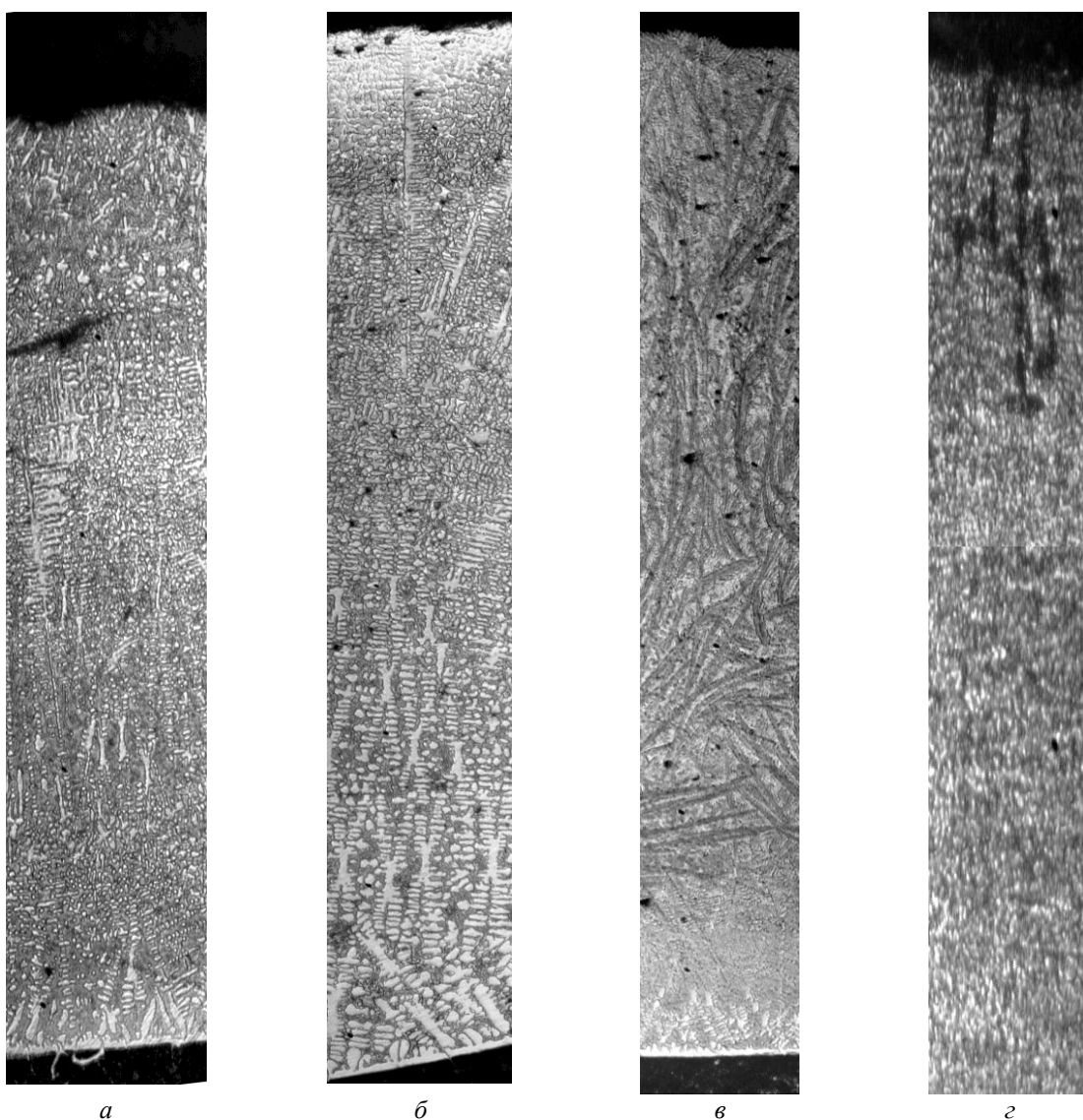
Евтектичні сплави наносили на сталь 45 методом електродугового наплавлення. Випробування на зносостійкість проводили на модернізованій машині типу Амслера за схемою диск-палець [2-4]. Навантаження становило 3, 7 та 10 МПа, швидкість тертя ковзання - 0,6 м/с, час дослідження – 6 год, номінальна площа контакту 78,5 мм<sup>2</sup>. Після проведених випробувань встановлено (рис. 1), що втрата маси при терті за умови питомих навантажень 3, 7 та 10 МПа змінюється відносно лінійно, і відповідно після 6-ти годин тертя становить 0,8, 1,8 та 1,95 г. Така залежність вказує на стабільність процесу зношування. Аналогічно змінюється коефіцієнт тертя і становить відповідно для вказаних навантажень — 0,66, 0,73 та 0,81.



**Рис. 1.** Кінетика зношування пари тертя евтектичне покриття системи Fe – Mn – B – C – Si – Ni – Cr – сталь 45 (HRC 56)

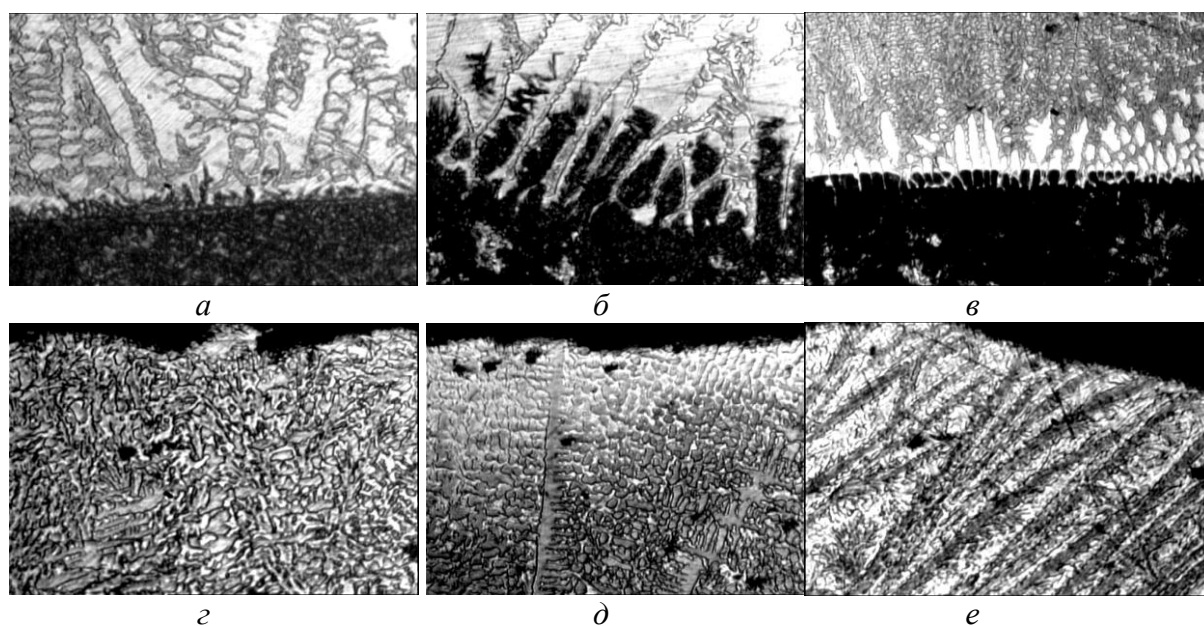
За допомогою рентгенівського аналізу [5] встановлено фазовий склад покриттів. Вони переважно складаються з легованого аустеніту  $\gamma$ -(Fe, Cr, Ni), карбідів типу  $(\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C})$ ,  $\text{Fe}_3\text{C}$  зі слідами бориду  $\text{Fe}_2\text{B}$ . Аналіз мікроструктури евтектичних матеріалів проводили з допомогою мікроскопа METAM P-1 (рис. 2, 3, 4 г) та оптичного мікроскопа MICROS (AUSTRIA) з використанням програми MATERIAL VISION (рис. 4 а-в). Для травлення поверхні зразків використовували 4-% спиртовий розчин азотної кислоти [6]. На основі проведених досліджень мікроструктури евтектичних покриттів виявлено (рис. 3), що структурно-фазові зміни в процесі тертя відбуваються в основному у приповерхневих шарах в результаті пластичної деформації і фрикційного розігріву. Як видно, температура та швидкість нанесення покриттів має суттєвий вплив на величину дендритів та структуру зони сплавлення. Окрім того у всіх покриттях за товщиною спостерігається зміна морфології (рис. 2).

Покриття характеризуються високою адгезією з поверхнею. Чітко видно дифузійну перехідну зону між покриттям та основою (рис. 3 а-в). Формування евтектичного покриття відбувається в результаті дифузійного перерозподілу марганцю, бору та кремнію, а також інших легуючих елементів у рідкій фазі [1]. Залежно від вмісту заліза, марганцю, вуглецю та бору відбувається евтектична взаємодія Fe – Mn – C, або Fe – B – C.



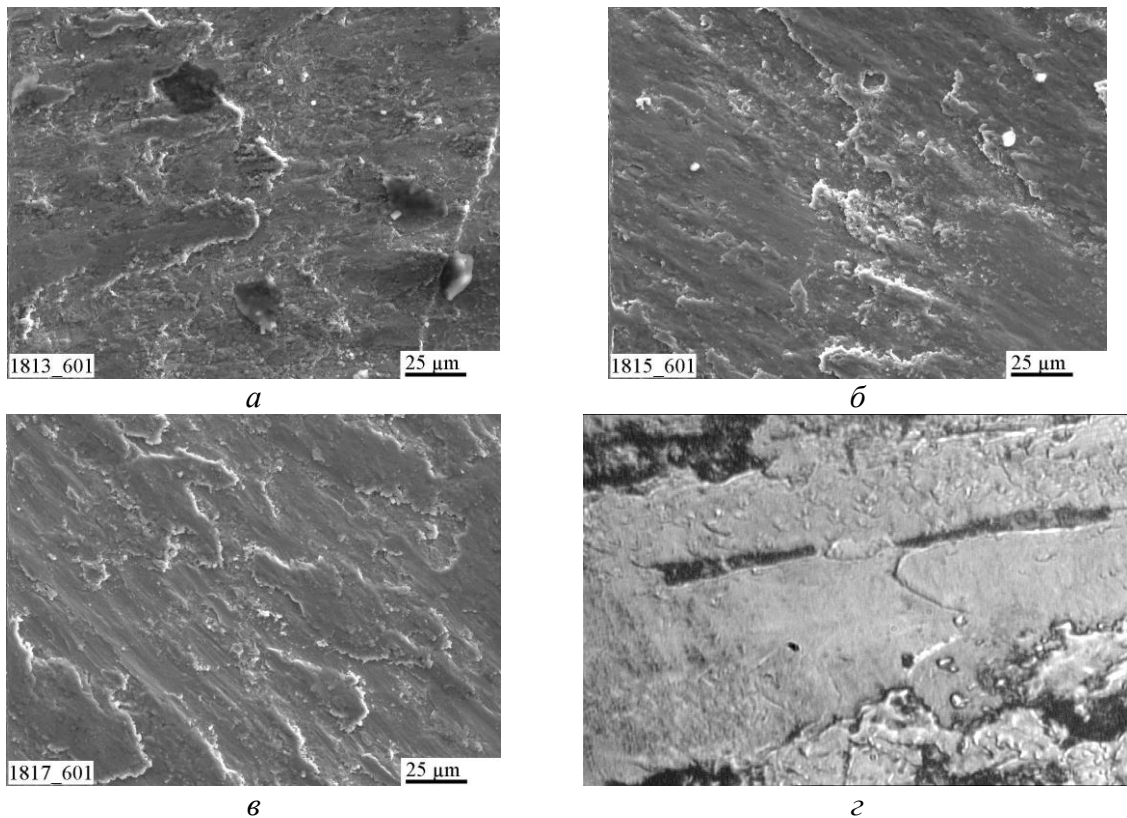
**Рис. 2.** Мікроструктура ( $\times 200$ ) евтектичних покриттів системи Fe – Mn – C – B – Si – Ni – Cr, отриманих електродуговим наплавленням із використанням порошкових дротів та контртіла зі сталі 45 (z), після тертя за питомого навантаження: а – 3 МПа; б – 7 МПа; в – 10 МПа

При нагріванні основи до 1200 °С відбувається оплавлення поверхні і дифузія в основний метал в основному бору та вуглецю. При охолодженні відбувається кристалізація аустеніту, який росте у вигляді дендритів. В останню чергу кристалізується між дендритами евтектика системи Fe-Mn-C. В процесі електродугового наплавлення формується перехідна дифузійна зона, яка має добре зчеплення з поверхнею (до 600 МПа). Товщина цієї зони становить приблизно 5-10 мкм (рис. 3 а,б). Від зони сплавлення формуються дендрити аустеніту світлого кольору в напрямку відведення тепла. Відстань між головними осями дендритів в середній зоні покриття за умови навантаження 3 МПа становить 48 мкм, за умови навантаження 7 МПа – 20 мкм, при навантаженні 10 МПа – 16 мкм. Величина дендритів від основи до поверхні зменшується, а кількість евтектики збільшується. Від осей першого порядку перпендикулярно відростають осі другого порядку. В поверхневих шарах евтектики видно область пластичного деформування.



**Рис. 3.** Мікроструктура ( $\times 300$ ) евтектичних покриттів системи Fe – Mn – C – B – Si – Ni – Cr, отриманих електродуговим наплавленням, після тертя за питомих навантажень:  
а – 3 МПа; б – 7 МПа; в – 10 МПа

Аналіз поверхні тертя (згідно із стандартом ISO/DIS 7146) дає можливість стверджувати (рис. 4), що після випробувань у всьому діапазоні навантажень поверхня зразка є відносно гладкою, а граничний шар складається з декількох шарів. Дослідивши будову поверхні при великих збільшеннях (рис. 4, б, в, д, е, ж, з) бачимо, що поверхня має характерну пелюстково-плівкову структуру. Чітко видно відмінності в будові шарів, які лежать зверху від тих, що лежать нижче. Окремі пелюстки лежать на різних рівнях і перекриваються. Автори Н. Кузьмін та інші [7] стверджують, що такі плівки можуть утворитися, за умови, що елементи вузла тертя містять речовини, які сприяють формуванню плівок в результаті трибохімічних реакцій. Сама плівка є щільною та тонкою і утворюється завдяки пластифікації поверхневих шарів матеріалів, що складають пару тертя, і виникає, коли цьому сприяє властивості самого матеріалу (низька границя текучості в тонких приповерхневих шарах, можливе оплавлення продуктів зношування та їх подальше намащування). Видимих дефектів, у вигляді виривів, штрихів, тріщин та мікрорізання не спостерігалось.



**Рис. 3.** Мікроструктура ( $\times 500$ ) поверхні тертя евтектичних покриттів системи Fe – Mn – C – B – Si – Ni – Cr, отриманих електродуговим наплавленням (а-в) та контртіла зі сталі 45 (г), за умови питомих навантажень 3 МПа (а), 7 МПа (б) та 10 МПа (в),  $t = 6$  год.

Пелюстково-плівкова структура з тонкою плівкою характеризується мінімальним зношуванням, тому що тонкі плівки легко відновлюються. Чим більша відстань між пелюстками, тим стійкіше фрикційне течіння матеріалу і відповідно менше зношування. Відстань між пелюстками на поверхні тертя за умов навантаження 3 МПа становить 60 мкм, при навантаженні 7 МПа – 41 мкм, а при навантаженні 10 МПа зменшується до 8,3 мкм. Найкращою є структура поверхні тертя при навантаженні 3 МПа (рис. 4 б, в), оскільки у ній практично відсутні ознаки смугастості. Наявність такої структури на поверхні тертя вказує на малу величину зношування. На поверхнях, які випробовували при 7 (рис. 4 б) та 10 МПа (рис. 4, в) структура все більше набирає смугастого характеру, завдяки перекочуванню продуктів зношування.

Аналіз поверхні контртіла показав (рис. 4, г), що будова його поверхні подібна до будови поверхонь покриттів і має пелюстково-плівкову структуру, причому відстань між пелюстками є достатньо великою. Плівка, яка утворилася на поверхні контртіла є товстою і пористою. Утворення такої плівки відбувається завдяки перемішуванню дрібних часточок руйнування з продуктами зношування, що утворилися в процесі тертя, утворюючи граничний шар. При цьому формується структура типу «баббіту», що позитивно впливає на триботехнічні характеристики матеріалів, які працюють за умови важконавантажених режимів роботи вузла.

**Висновки.** Отже, при дослідженні мікроструктури встановлено наявність трьох мікрообластей: наплавлений шар, зона сплавлення, зона термічного впливу. В процесі тертя відбувається пластична деформація і подрібнення евтектичних колоній. Товщина зони сплавлення, розмір дендритів, дисперсність евтектики залежать від режимів нанесення покриттів. Структурні особливості поверхонь тертя відображають структуру граничного шару, яка своєю чергою визначається специфікою перебігу фізико-хімічних процесів, що супроводжують фрикційну взаємодію. Аналізуючи механізми, перебіг яких формує таку структуру при сухому терті, можна припустити, що у даному випадку домінує окислювальний механізм зношування.

Можна ствердити, що продукти зношування представляють собою стехіометричні і не стехіометричні оксиди системи  $B_2O_3 - Fe_xO_y - SiO_2$ . Наявність оксидних плівок покращує зносостійкість покриттів та зберігає стабільний характер тертя при важких режимах роботи. Ці плівки виконують роль мастила, особливо при навантаженні більших за 7, 10 МПа. На мікрорівнях вони розм'якшуються, оплавляються та намащуються на поверхню тертя. Нанесення таких покриттів на ріжучі частини інструментів та на деталі агрегатів пожежної техніки, які працюють в умовах високих температур та тертя при високих питомих навантаженнях, може підвищити їх механічні характеристики, надійність та довговічність, і завдяки невисокій вартості евтектичних покриттів на основі заліза, дасть значний економічний ефект.

#### Список літератури:

- 1. Чернець М., Пашечко М., Невчас А.** Методи прогнозування та підвищення зносостійкості триботехнічних систем ковзання. Т.2 Поверхневе зміцнення конструкційних матеріалів трибосистем ковзання. В 3-х томах. — Дрогобич: Коло, 2001. — 512 с.
- 2. М. Paszeczko, P. Skalski, K. Lenik.** Analiza zmian momentu i współczynnika tarcia poprzez wykorzystanie pomiaru wielkości elektrycznych. – Tribologia. – № 5. – 2004, S. 205-212
- 3. Paszeczko M., Lenik K., Czerniec M., Gorecki T.:** Konstytuowanie warstwy wierzchniej z wykorzystaniem kompozytów eutektycznych układu Fe-Mn-C-B-Si, Inż. Powierzchni, nr 2/2001
- 4. Lenik K., Paszeczko M.:** Opracowanie nowej rodziny stopów eutektycznych odpornych na zużycie. Tribologia na progu trzeciego tysiąclecia. Politechnika Wrocławska 2002 r. S.196-201.
- 5. Приборы и методы физического металловедения.** Вып. 1. М.: Мир, 1973.
- 6. Избранные методы исследования в металловедении**//Под ред. Хунгера Г. –Й.: Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1985, 416 с.
- 7. Н. Н. Кузьмин, Е. А. Шувалова, Г. Р. Транковская, Т. И. Муравьева.** Методы анализа структур поверхностей, формирующихся в процессе трения // Трение и износ. Т. 17. — №4. —1996. С. 480-486.
- 8. Пашечко М.І., Кондир А.І., Богун Л.І.** Механізми утворення оксидів на контактних поверхнях при терті матеріалів, що містять залізо та бор// Проблеми трибології. — №2. — 2003.

*М. И. Пашечко, Т. Г. Бережанский, В.И. Кузыляк*

#### УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе исследовано микроструктуру поверхности трения эвтектических покрытий системы Fe – Mn – B – C – Si– Ni – Cr, после трения при удельных нагрузках 3, 7 и 10 МПа без смазки. Показано доминирующую роль окислительного механизма износа эвтектических композиционных материалов. Оксидные пленки выполняют роль смазки, повышают износостойкость покрытий и обеспечивает стабильный характер трения при тяжелых режимах работы. Нанесение эвтектических покрытий на режущие части инструментов и на детали агрегатов пожарной техники, работающих в условиях трения при высоких удельных нагрузках и температурах, позволяет повысить их механические характеристики, надежность и долговечность. Благодаря невысокой стоимости эвтектических материалов на основе железа покрытия являются экономически обоснованными.

**Ключевые слова:** пожарный инструмент, эвтектическое покрытие, трение, микроструктура, деформация.

**IMPROVING FIRE DEPARTMENT TOOL MECHANICAL CHARACTERISTICS  
BY APPLYING COATINGS BASED ON EUTECTIC COMPOSITE MATERIALS**

Microstructure researches of friction surface eutectic coatings of Fe – Mn – B – C – Si – Ni – Cr system, after testing on the condition of specific load activity 3, 7 and 10 MPa and dry friction. Dominant role of eutectic composites increase durability is shown. Oxidation films fulfil the function of lubricating oil, increase coating durability and provide permanent friction character during heavy-duty operations. Eutectic coatings application on tool cutting parts and on fire-fighting equipment aggregate details operating in friction at high specific loads and temperatures can improve their mechanical properties, reliability and durability. Iron coating is economically feasible due to low cost of eutectic materials.

**Keywords:** fire department tool, eutectic coating, friction, microstructure, deformation.

