

9.3 Удосконалення процесу ремонту сільськогосподарської техніки підвищенням зносостійкості пресових з'єднань деталей машин енергоефективними методами

Складання нерухомих поверхонь може бути забезпечене, наприклад, шляхом вдавлювання валу в отвір, нагрівання частини, що має отвір і обволікаючий його, або охолодженням валу [502, 503].

Аналіз результатів роботи валків композитного стану ряду типорозмірів показує, що існує велика кількість випадків низької надійності фіксації шини на осі валків у процесі складання термічним впливом [504]. Це сприяло розробці широкого спектру додаткових конструктивних, технологічних та інших видів способів і засобів кріплення [505].

Пошкодження, викликані явищем фреттинг-корозії (ФК), залежать від переважної більшості факторів, а саме від відносної амплітуди ковзання, контактного тиску, кількості циклів, частоти коливань, матеріалу та середовища.

Типовим прикладом для вивчення різних типів причин виникнення ФК є пружна муфта (ПМ). Основною перевагою муфт з пружними металевими елементами в порівнянні з зубчастими і втулково-пальцевими муфтами є їх висока компенсаційна здатність, або можливість роботи зі зміщеними осями валів без створення значних додаткових навантажень на вали та їх опору. елементи (підшипники). Низькі реактивні сили позитивно впливають на роторну систему, термін служби якої тут менше залежить від точності центрування валу. Муфти одночасно мають крутильну жорсткість і гнучкість в осьовому та кутовому напрямках, щоб компенсувати значні значення децентрування валу, включаючи зміщення [506].

Слід зазначити, що серед усіх сполучуваних поверхонь деталей ПМ особливу небезпеку представляє з'єднання типу «напівмуфта-вал», при якому зовнішня циліндрична поверхня вала стикається з внутрішньою циліндричною поверхнею напівмуфти. зчеплення, і деталі тут утворюють попередньо натягнутий з'єднання [507-510].

Також слід зазначити, що такі важливі деталі насосно-компресорного обладнання, як напівмуфти, які утворюють з валами компресійні з'єднання, зазвичай виготовляються з жароміцної та релаксаційної конструкційної сталі марки 38Х2МЮА (інше позначення – марка 38ХМЮА).), які можуть бути замінені сталями марок 38Х2ЮА, 38Х3МВФ, 38ХВФЮ, 38Х2Ю.

Як правило, в процесі експлуатації між сполучними циліндричними поверхнями, як правило, в районі торців напівмуфти, виникає фреттинговий знос (ФЗ), що може призвести до ослаблення прилягання, посилення вібрації, що призводить до з'єднання. невдача та аварія. Крім того, ФЗ призводить до зниження втомної міцності деталей, що також може спричинити серйозні нещасні випадки.

Для значного підвищення несучої здатності компресійних з'єднань останнім часом широко розвивається науково-технічний напрямок, пов'язаний із введенням проміжних шарів з м'яких і твердих матеріалів у зони контакту з'єднань [511–519].

Ефективність того чи іншого покриття залежить від його товщини. Були проведені експерименти, які показали, що пошкодження фреттингу збільшувалися, коли товщина гальванічного срібла зменшувалася зі 125 до 12,5 мкм. Згідно з роботою [520], для забезпечення практичного використання більшості деталей рекомендовано наносити покриття товщиною 75-125 мкм, хоча в деяких випадках рекомендована товщина до 300 мкм.

У роботі [521] автор цитував результати роботи А. Туми та Ф. Вундерліха, в яких обговорювався значний ефект підвищення межі витривалості валів із запресованими деталями шляхом їх карбонізації. Встановлено, що на межу витривалості зразків діаметром 12 мм із запресованими втулками впливають їх викривлення в процесі загартування. Після вжиття заходів проти викривлень межа витривалості зросла з 137,3 до 412,0 МПа. За даними, представленими Е. Лером, межа витривалості карбонізованих зразків діаметром 60 мм була більш ніж вдвічі збільшена, ніж у монтажної установки під тиском.

Сьогодні хіміко-термічна обробка (ХТО) є одним з найефективніших методів зміцнення поверхонь деталей для підвищення їх довговічності. Незважаючи на те, що в результаті ХТО значно підвищується якість поверхневих шарів деталей машин, спосіб має ряд недоліків. Це: об'ємний нагрів частини, що призводить до зміни її структури та вихідних геометричних параметрів (деформації та короблення); громіздке і дороге технологічне обладнання; тривала тривалість процесу, використання енергоємного обладнання тощо.

Останнім часом для підвищення якості поверхневих шарів деталей машин все більшого значення набуває метод електроіскрового легування (electrospark alloying) (ESA), а саме процес перенесення матеріалу на поверхню виробу електричним іскровим розрядом [522-524]. Його особливістю є: екологічна безпека, місцевість дії, низьке енергоспоживання, міцне з'єднання нанесеного матеріалу з основою тощо. Використовуючи різні електродні матеріали, метод ESA може бути використаний для проведення процесів, альтернативних ХТО, але зі значно меншими витратами [525-528]. Таким чином, застосувавши графітовий електрод і насичивши поверхню деталі вуглецем, можна провести процес карбонізації [529], роблячи те ж саме з використанням алюмінієвого електрода, провести процес алюмініювання [530] тощо.

Аналіз використаної літератури показав, що для захисту поверхонь деталей компресійних з'єднань типу «маточина-вал» від ФК найбільш перспективним може бути метод, який дозволяє нанести захисне покриття в локальному місці на поверхню однієї або, якщо необхідно, обох частин, що сполучаються. У той же час немає необхідності захищати інші частини від впливу процесу ESA. Крім того, враховуючи позитивну роль таких методів, як карбонізація, алюмініювання та сульфидування у захисті сполучених поверхонь деталей від ПМ, виникла потреба у розв'язанні проблеми створення нового процесу формування складних багатокомпонентних CS-Al покриттів сталевих деталей за методом ESA.

Таким чином, **метою** роботи є розробка нового способу захисту сталевих деталей від ФЗ методом електроіскрового легування шляхом формування багатокомпонентних комплексних CS-Al покриттів для підвищення значень

зносостійкості деталей, запобігання тертя. захоплення і підвищення стійкості до атмосферної корозії.

Для визначення впливу енергетичних параметрів обладнання ESA на якісні показники покриттів були виготовлені зразки сталі марки 38Х2МЮА з розміром зразків 15х15х8 мм, на які наносили консистентну речовину у вигляді сірчаної мазі з вмістом сірки 33,3%. Перед нанесенням до сірчаної мазі додали алюмінієву пудру марки ПАД-0 (ПАД-0 (ГОСТ 5494-95)). Максимальна кількість порошку становила 56%. Подальше збільшення кількості порошку призвело до зниження адгезії з поверхнею, що алюмініювалася. Після цього, не чекаючи висихання консистенції, проводили процес за методом ESA із застосуванням графітового електрода марки ЭГ-4 на установці моделі «Елітрон – 52А» з використанням різних режимів роботи. В такому разі, значення енергії розряду $W_u = 0,13; 0,52$ і 4,9 Дж.

Кожен режим методу ESA відповідав власній енергії розряду та продуктивності, тобто площі утвореного покриття за одиницю часу (табл. 1).

Таблиця 1. Залежність продуктивності ESA від енергії розряду

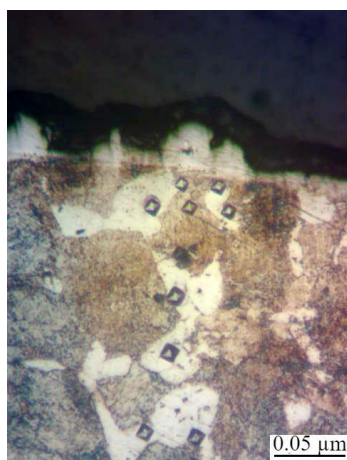
Енергія розряду (W_u), Дж	0,13	0,52	4.6
Продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$	0,5-0,7	1,0-1,3	2,0-2,5

Слід зазначити, що зниження продуктивності процесу методом ESA тягне за собою зниження якісних параметрів поверхневого шару, тобто виникнення опіків, а головне, руйнування утвореного шару, що особливо впливає при обробці на «грубих» режимах з енергією розряду $W_u > 1$ Дж. Збільшення продуктивності призводить до зниження безперервності покриття.

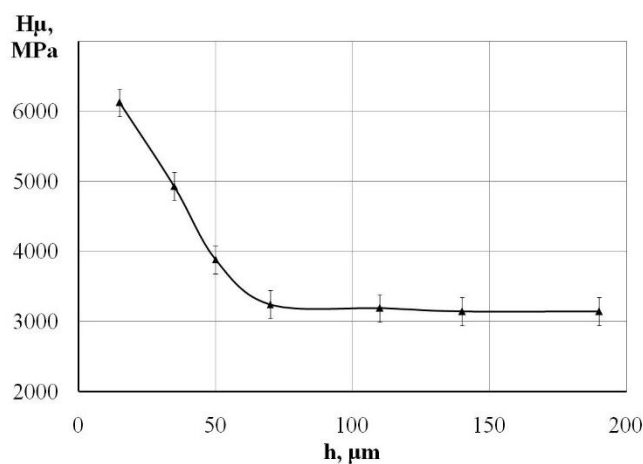
Металографічний аналіз покриттів проводили за допомогою оптичного мікроскопа моделі МІМ-7 (МІМ-7); дюраметричні дослідження проводили на приладі моделі ПМТ-3 (ПМТ-3). Шорсткість поверхні після обробки методом ESA визначали за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 виробництва заводу «Калібр» шляхом зчитування та обробки профілограм.

Для вивчення розподілу елементів по глибині шару було проведено локальний рентгенівський мікроаналіз за допомогою скануючого електронного мікроскопа типу Joel JSM-5400, оснащеного мікроаналізатором, що надається приладами ISIS 300 Oxford.

На рисунку 1 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості для поверхневого шару (б) зі сталі 38Х2МЮА при обробці методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж. Металографічний аналіз показав, що отриманий шар неоднорідний і низька безперервність (близько 70%). Покриття CS-Al складається з трьох зон: білого шару глибиною ~ 10 мкм, який не піддається травленню звичайними реагентами, знизу знаходиться перехідний (дифузійний) шар глибиною ~ 20 мкм, і основа метал, а саме сталь 38Х2МЮА. Аналізуючи розподіл мікротвердості по глибині шару, слід зазначити, що в результаті електроіскрового легування утворюється покриття, яке характеризується найбільшим значенням твердості (до $H_{\mu} = 6100$ МПа) для білого шару (рис.1).



а



б

Рисунок 1. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) для поверхневого шару сталі 38Х2МЮА за методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж.

Результати мікрорентгенспектрального аналізу (рис. 2) свідчать, що після обробки методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж у поверхневому шарі спостерігається підвищений вміст вуглецю, сірки та алюмінію на відстані до 20, 40 і 35 мкм відповідно, а кількість заліза трохи зменшується до 25 мкм.

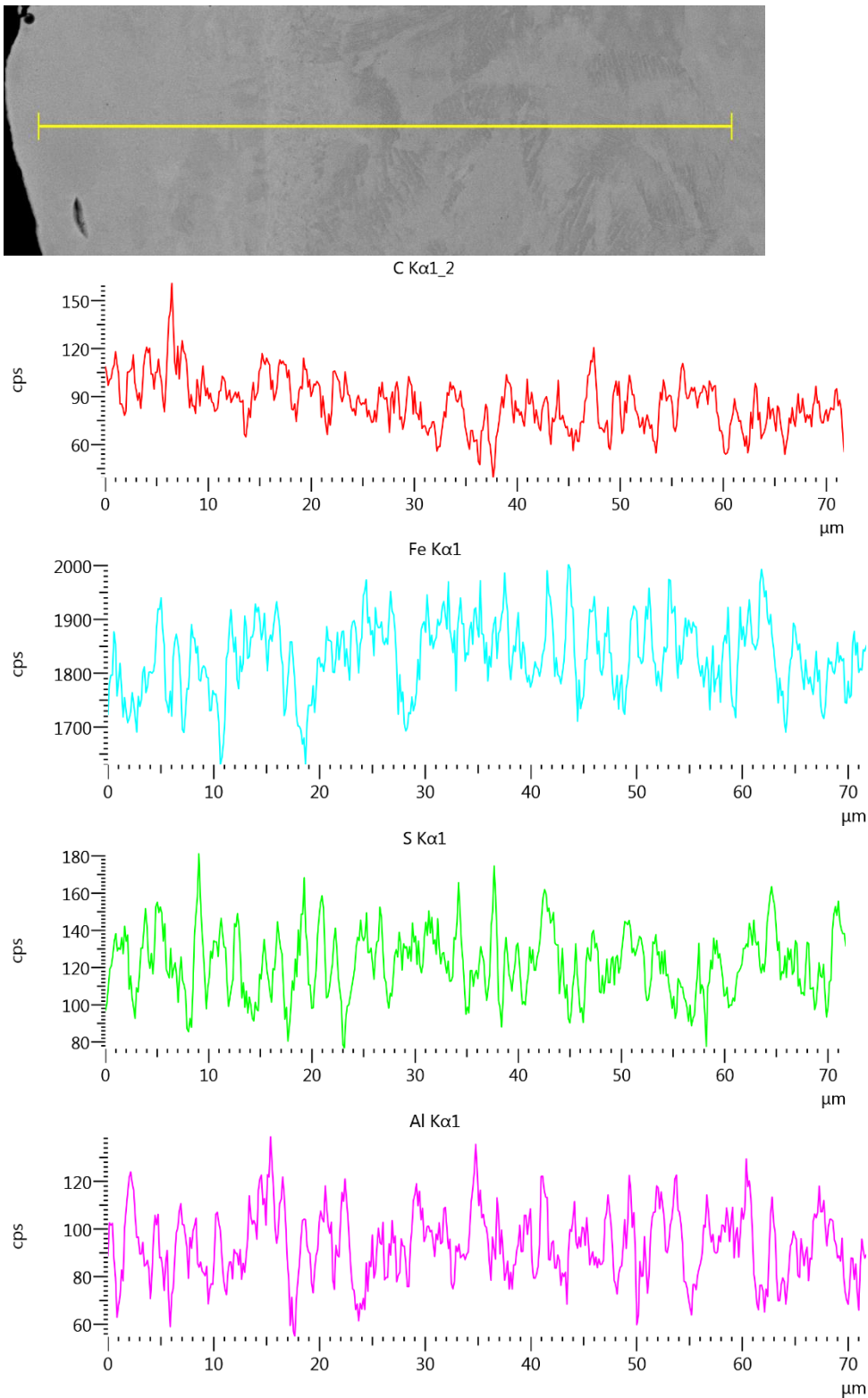


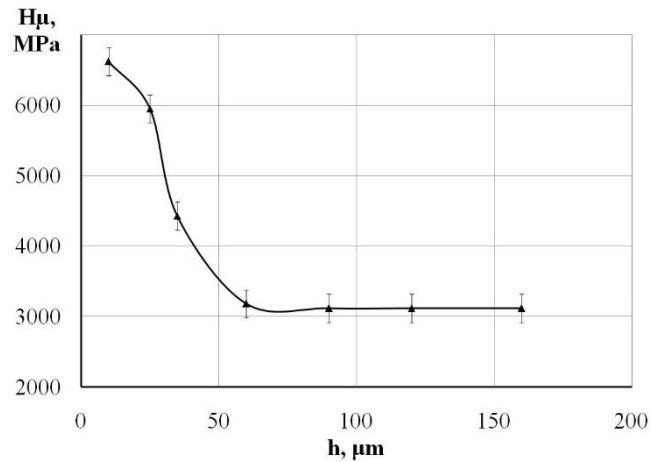
Рисунок 2. Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 38X2МЮА за методом ESA з $W_u = 0,13$ Дж.

При збільшенні енергії розряду до $W_u = 0,52$ Дж спостерігається утворення більш суцільного шару покриття (до 85-90%). Так само, як і при $W_u = 0,13$ Дж, шар складається з 3 зон (рис. 3, а). Однак із збільшенням енергії розряду

твердість і розміри зон збільшуються (рис. 3). Так, твердість білого шару $H_{\mu} \sim 6600$ МПа і її значення (h) $\sim 20\text{--}30$ мкм, перехідного шару - $H_{\mu} = 4500\text{--}5000$ МПа, $h \sim 20$ мкм.



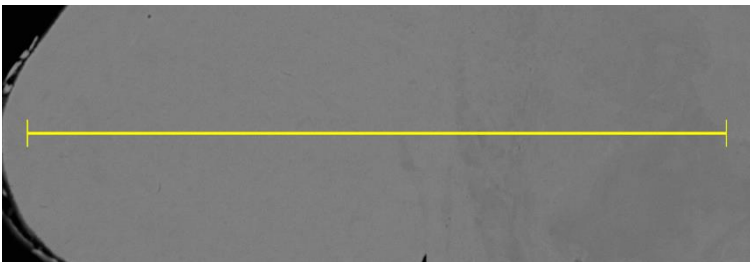
а



б

Рисунок 3. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поверхневого шару сталі 38X2МЮА при обробці методом ESA з $W_u = 0,52$ Дж.

На рисунку 4 показані результати локального мікрорентгеноспектрального аналізу складних покриттів CS-Al після їх обробки методом ESA з $W_u = 0,52$ Дж. Як видно з малюнка, в результаті ESA, вуглець, сірка та алюміній дифундують глибоко в підкладку, а саме сталь 38X2МЮА. Спостерігається підвищений вміст C, S та Al відповідно на відстані 45, 65 та 57 мкм, починаючи від поверхні, при незначному зменшенні вмісту заліза (на відстані ~ 55 мкм), (рис.4).



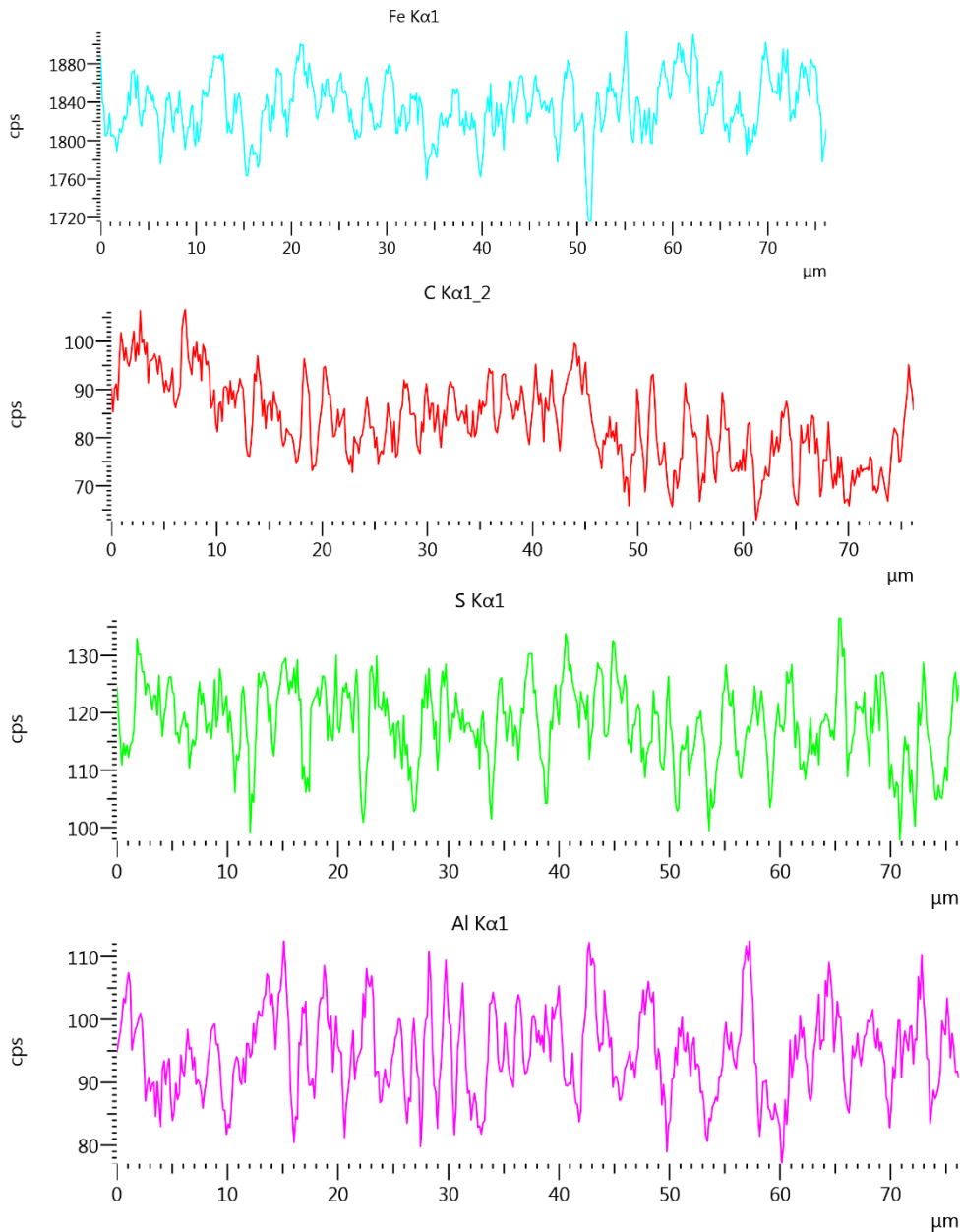
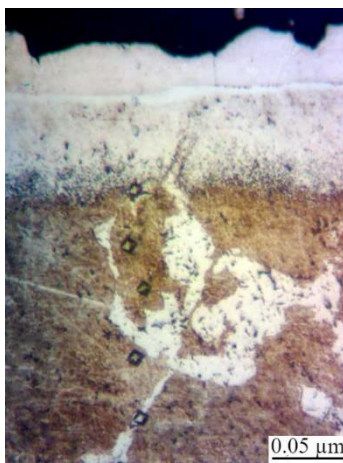
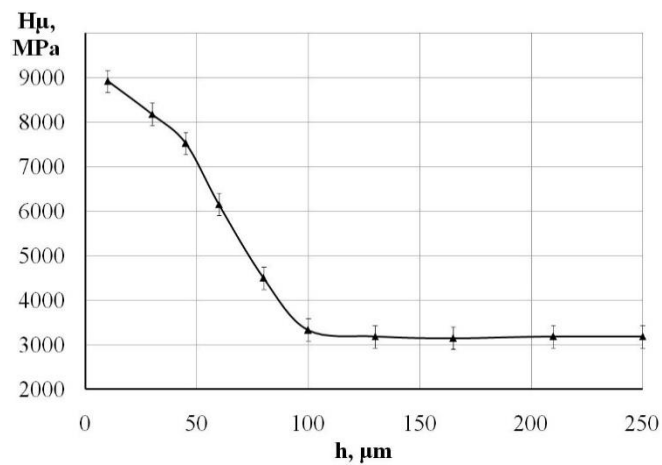


Рисунок 4. Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 38X2МЮА після обробки методом ESA з $W_u = 0,52$ Дж.

На рисунку 5 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості поверхневого шару (б) сталі 38X2МЮА при обробці її методом ESA з $W_u = 4,9$ Дж. При цьому суцільність шару становить 100 %. Покриття складається з 4 зон. Це: 1 - Досить масивний верхній білий шар товщиною до 50 мкм і з $H_\mu \sim 8900$ МПа, 2 - Легкий підшар (20 - 30 мкм) з мікротвердістю близько 6500 МПа, 3 - Перехідна зона ~ 20 мкм. товщиною, $H_\mu = 4000 - 4500$ МПа і 4 - Основний метал $H_\mu = 3100\text{--}3200$ МПа (рис.5).



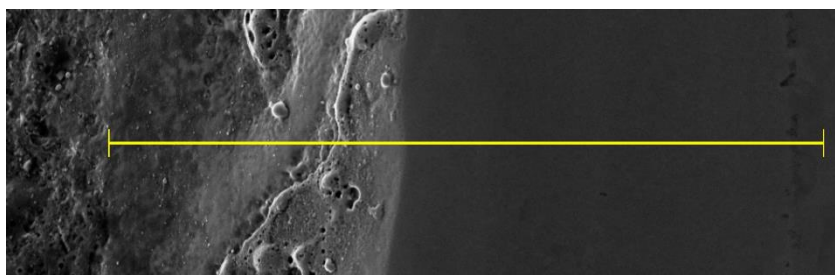
а



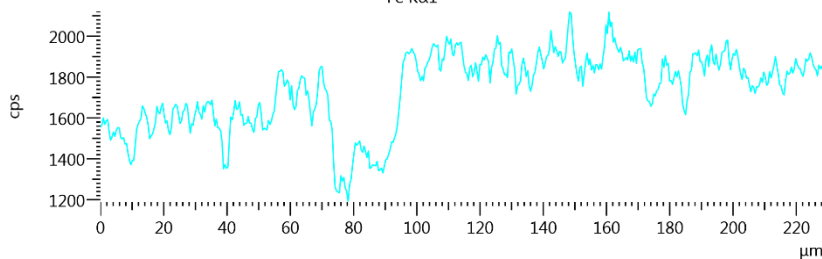
б

Рисунок 5. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поверхневого шару сталі 38Х2МЮА при обробці його методом ЕСА з $W_u = 4,9$ Дж.

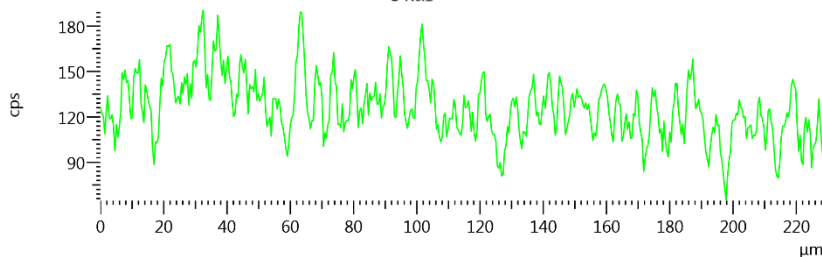
На рисунку 6 показані результати електронно-мікроскопічних досліджень та локального рентгенівського мікроаналізу.



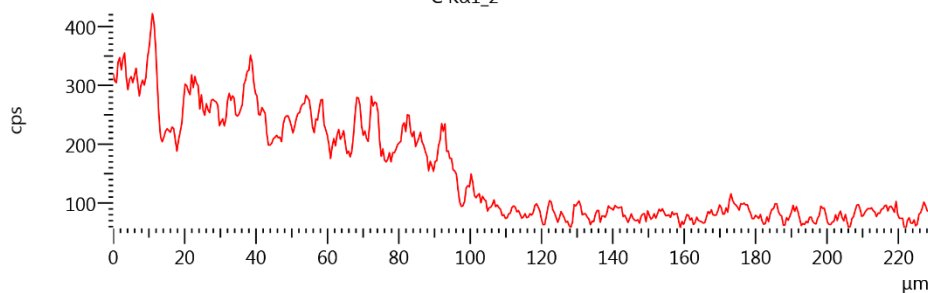
Fe Kα1



S Kα1



C Kα1_2



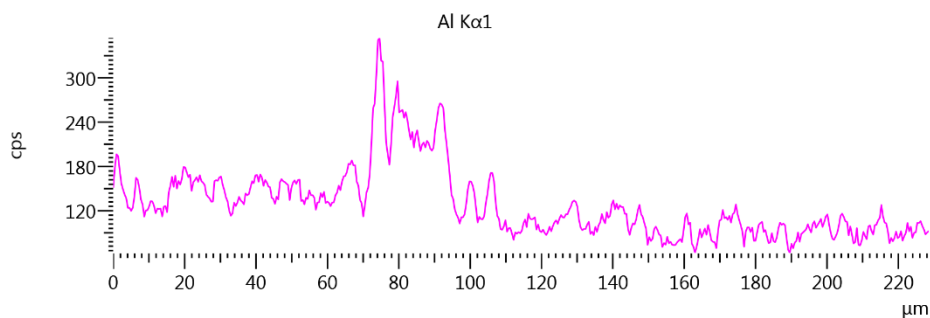


Рисунок 6. Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 38X2МЮА за методом ESA з $W_u = 4,9$ Дж.

На мікроструктурі, отриманій за допомогою скануючого мікроскопа, також спостерігаються 4 зони: поверхневий шар, підшар, перехідний шар і основний метал. Дослідження розподілу елементів по глибині покриття показали, що сірка і вуглець зосереджені переважно на поверхні і на глибині до 100 мкм. Алюміній розподілений у поверхневому шарі нерівномірно, і найбільша його кількість спостерігається на відстані від 60 до 110 мкм від поверхні, при цьому вміст заліза в ньому зменшується. Можна припустити, що вуглець- і сірковмісні фази переважно утворюються в приповерхневих шарах, а алюмінієвімісні — у перехідній зоні.

У таблиці 2 наведені якісні параметри комплексних покриттів CS-Al на сталі 38X2МЮА, отриманих методом електроіскрового легування на різних режимах.

Таблиця 2. Параметри якості комплексу CS-Al-покриттів на сталі 38X2МЮА після обробки методом ESA

Енергія розряду, Дж.	Товщина білого шару, мкм	Білий шар мікро-твердість, МПа	Шорсткість мкм			Білий шар суцільн., %
			Ra	Rz	Rmax	
0,13	10	6100±50	1.7	3.3	8.1	70
0,52	30	6600±50	2.3	3.9	9.1	90
4.9	50	8900±50	4.2	8.7	30.2	100

1. У результаті проведених досліджень розроблено технологічні рекомендації формування методом ESA на контактуючих поверхнях деталей з'єднання з натягом спеціальних покриттів, що забезпечують зниження впливу фреттинг процесу на надійність і довговічність, як поєднання «напівмуфта-вал».

2. Одночасне проведення на поверхнях маточини, в районі її торців, методом ESA процесів алітування, сульфидування та цементації покращує опори фреттинг-корозії, запобігає схоплюванню контактуючих поверхонь, забезпечує підвищення мікротвердості та зносостійкості поверхні, а також герметичність сполуки.

3. Проведено металографічний та дюрOMETричний аналізи поверхневих шарів конструкційної сталі марки 38X2MЮА після одночасного насичення їх вуглецем, сіркою та алюмінієм методом ESA. Показано, що шарова структура складається з трьох зон, а саме: білого шару, зони дифузії та основного металу. Зі збільшенням енергії розряду від 0,13 до 4,9 Дж товщина, мікротвердість і суцільність білого шару збільшуються відповідно з 10 до 50 мкм, з 6100 до 8900 МПа і з 70 до 100%, а також поверхня шорсткість (R_a , R_z і R_{max}) від 1,7; 3.3 і 8.1 до 4.2; 8.7 і 30.2 відповідно.

4. Наявність сірки в консистентній речовині сприяє забезпеченню процесу сульфидування. При обробці методом ESA з енергією розряду 4,9 Дж вміст сірки зменшується у міру заглиблення від поверхні, а на глибині 100 мкм відповідає кількості сірки в основі.