

УДК 621.791.923.6, 621.791

№ держреєстрації 0120U002209

Інв. №

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002

тел. +38(057) 7003888 <http://btu.kharkov.ua>, [info@btu.kharkov.ua](mailto:info@btu.kharkov.ua)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
Валерій МИХАЙЛОВ

**ЗВІТ**

**ПРО НАУКОВОДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**«НОВІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ  
НАПЛАВЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКУВАННЯ  
ВТОРИННОЮ СИРОВИНОЮ»**

(остаточний)

Керівник НДР

д.т.н., доц.

Рибалко І.М.

Рукопис закінчено 5 грудня 2024 року

Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою факультету мехатроніки та інжинірингу, протокол № 2 від 10.12.2024 р.

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР

доктор технічних наук, доцент



І.М. Рибалко  
(розділ 1, 3, 4)

Виконавці:

кандидат технічних наук, доцент



О.В. Тіхонов  
(вступ, розділ 3, висновки)

аспірант



А.В. Захаров  
(розділ 2, 4)

## РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 52 с., 15 рис., 16 табл., 37 джерел.

Об'єкт дослідження – процес підвищення якості виробів корегуванням складу модифікуючих домішок та їх вплив на структуроутворення при зміцненні наплавленням.

Мета роботи – підвищення якості та експлуатаційних властивостей деталей відновлення з модифікуванням вторинною сировиною.

Методи дослідження – розглянуті варіанти модифікування вивчали експериментально та теоретично: оптичною, електронною мікроскопією, термоелектронною емісією, локальним розподілом компонентів на ступінь однорідності їх засвоєння у покритті.

На теперішній час також найбільш гостро стоїть проблема підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Це обумовлено високою складністю механізму взаємодії ґрунторіжучих деталей з ґрунтом, абразивним середовищем, що має значні показники твердості. Значний вплив на зносостійкість лемешів, культиваторних лап та інших деталей роблять зовнішні параметри їх експлуатації: швидкість відносного переміщення абразивної маси, конструктивне розташування поверхонь, наявність та врахування ґрунтової вологи. Шляхи підвищення зносостійкості культиваторних лап зводяться до нанесення зміцнюючих покриттів у різному вигляді та суцільного наплавлення твердими матеріалами, металокерамікою. При наплавленні застосовують різні модифікуючі домішки.

У зв'язку з цим, пошук технологічних рішень щодо підвищення зносостійкості культиваторних лап зміцнюючим наплавленням з введенням модифікуючих домішок в рідку ванну є теж актуальним.

**ВТОРИННА СИРОВИНА, НАПЛАВЛЕННЯ, БЕНТОНІТОВА ГЛИНА, ДЕТОНАЦІЙНА ШИХТА, НАНОАЛМАЗИ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.**

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ АЛМАЗОВМІСНОЇ ШИХТИ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ	6
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ, ВИКОРИСТОВУВАНІ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ, РЕМОНТІ Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ	12
РОЗДІЛ 3 СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ ЇХ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ	16
3.1 Експериментальні дослідження покриттів з використанням нано- і дисперсної алмазовмісної шихти й сировини природного походження – глини	16
3.1.1 Застосування нано- і дисперсної алмазовмісної шихти при наплавленні відновлювальних і зміцнюючих покриттів	16
3.1.2 Застосування природної сировини – глини для модифікування покриттів	26
3.1.3 Дослідження властивостей нових покриттів	36
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	37
4.1 Спосіб зміцнення культиваторних лап наплавленням зміцнюючими смугами	37
4.2 Польові випробування зміцнених культиваторних лап	44
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТКИ	53

## ВСТУП

Відновлення деталей машин і механізмів є важливим аспектом сучасної інженерії, оскільки дозволяє зменшити витрати на виробництво нових елементів, скоротити терміни простою обладнання та знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Зокрема, процеси наплавлення з використанням модифікування вторинною сировиною відкривають нові можливості для підвищення зносостійкості та довговічності відновлюваних деталей, що є особливо актуальним для деталей ґрунтообробних машин.

Актуальність теми дослідження обумовлена зростаючою потребою у вирішенні проблеми зносу робочих органів сільськогосподарської техніки, що взаємодіють із абразивним середовищем. Незважаючи на накопичений значний теоретичний та експериментальний досвід у сфері тертя і зношування, питання прогнозування довговічності деталей та підвищення їх експлуатаційних характеристик в умовах абразивної взаємодії залишається складним. Воно вимагає глибокого аналізу багатьох взаємопов'язаних факторів, зокрема, особливостей конструкції деталей, характеристик матеріалів, умов експлуатації та властивостей абразивного середовища.

Метою роботи є розробка нових технологічних процесів відновлення деталей наплавленням із застосуванням модифікування вторинною сировиною для забезпечення підвищення їх якості та експлуатаційних властивостей. У ході дослідження передбачається визначити оптимальні параметри процесів наплавлення та модифікування, що сприятимуть збільшенню зносостійкості та довговічності робочих органів ґрунтообробних машин.

Дане дослідження спрямоване на створення науково обґрунтованих підходів до вдосконалення методів відновлення деталей, що дозволить значно підвищити ефективність їх експлуатації в агресивних умовах роботи.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАСТОСУВАННЯ АЛМАЗОВМІСНОЇ ШИХТИ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ

Всебічні дослідження щодо отримання алмазної немагнітної фракції здійснювали з використанням фізичних і хімічних методик та зі застосуванням різних способів їх отримання. При цьому оцінювали їх властивості та прогнозували особливості структуроутворення і можливості використання для модифікування із забезпеченням стабільності й однорідності властивостей. У меншій мірі дослідження виконували для використання таких присадок в рідкий метал при виготовленні деталей і їх відновленні та експлуатації. Це пов'язано з тим, що кожна сфера використання нерозривно пов'язана із забезпеченням специфічних споживчих властивостей, обумовлених нормативно-технічною документацією.

Найчастіше для підвищення довговічності деталей використовують легуючі і модифікуючі домішки. Додаткове легування істотно підвищує вартість виробництва виробів. Тому найчастіше використовують введення модифікуючих домішок, які при відновленні забезпечують необхідні їм фізико-механічні властивості: подрібнення зерен при кристалізації покриттів, здатність формувати більш однорідну структуру. В якості таких модифікуючих домішок використовують оксиди, нітриди і, останнім часом, алмазну фракцію. Тому для підвищення ефекту виробництва використовували алмазний модифікатор і його піддавали спеціальній обробці з нанесенням на нього покриття, що складаються з різних компонентів.

Це такі як Ni, Cr, Ti, Co-Ni, Ni-W, Ti-Cr, Ti-W [1, 2]. Для модифікування алмазної фракції додатковими компонентами здійснюють нанесення на неї компонентів багатоступінчастою обробкою, що включає спеціальну обкатку і спікання при різних температурах (750 і 900°C). Така технологія отримання порошкової композиції є досить витратною.

Виходячи з вимог, які пред'являються до зміцнення відновлюваних покриттів, на деталях виконували аналіз матеріалів різних типів патронів, які можна утилізувати в невеликому контейнері [3-5].

Найбільш ефективними можуть бути 12,5 мм бойові патрони, частка яких складе 90,0% і 15мм (до 10%) сигнальні. Кількість сигнальних патронів не повинно перевищувати цієї кількості, так як вони включають Mg, який значно підвищує піроефект і забезпечує локальну детонацію до 3000°C. Такі боєприпаси мають складну конструктивну будову, для чого використовують різні за складом вихідні матеріали. До складу патронів входить також порох і це не вимагає додаткового використання вибухових речовин при їх утилізації.

При виборі вихідного матеріалу при детонації також враховували, що компоненти Cu і Zr стабілізують такий процес.

Для детонації використовували контейнер об'ємом 1м<sup>3</sup> з отворами на його поверхні, бокових стінках і дні для видалення газів та легкоплавких компонентів. Такі отвори формували діаметром 6мм, один від одного на відстані 50мм. Контейнер для детонації встановлювали в полі на відстані 1,5км від будівель. Перед закладанням в контейнер патрони упакували в зв'язки по 10 шт і укладали в чотири шари, а потім підпалювали нижній (першу в'язку). Час детонації кожного шару змінювався і склав 1-2с (першого); 2-3с (другого); 3-5с (третього); 5-10с (четвертого). Сигнальні патрони розподіляли рівномірно в зв'язці з освітлювальними кожного шару. Це забезпечило середню температуру інтервалу детонації 1500-1800°C.

Відмінною особливістю такого способу детонації є отримання шихти зі стабільною алмазної фазою і можливістю одночасного отримання модифікуючих компонентів.

Для досліджень якісного та кількісного складу шихти використовували методи хімічного та спектрального аналізів, електронну мікроскопію і локальний спектральний аналіз.

Використання такої шихти для досягнення конкретних заданих властивостей, її легко можна розділити на фракції (дрібну немагнітну, магнітну і велику – змішану). Залежно від типу фракції її ефективно використовувати для різного призначення – в металургії, машинобудуванні і нафтогазовидобувному виробництвах, а також різних за часткою і способами введення в якості модифікуючої домішки в метал і пластичне мастило для стабілізації роботи обладнання [6], в зміцнюючі покриття відновлювального наплавлення різними методами.

При утилізації боєприпасів формуються конгломерати, які відрізняються за розміром. Їх дробили і аналізували різними методами. На першому етапі властивості оцінювали хімічним аналізом. При цьому визначали середній вміст основних компонентів, якість і структуру поверхні, що входять в метал – Fe, Cu і C. Встановлено, що в такий шихті їх частка становить: 3,47-3,43% C; 3,14% Cu і до 100% S, Ca, Mg, K, Na, Fe, O<sub>2</sub> ссілка лит.

Для виявлення всіх можливих компонентів, що входять в дисперсну фракцію шихти, аналізували їх вміст методом спектрального аналізу роздрібнених зерен конгломерату.

Статистичним електронікроскопічним аналізом і локальним рентгеноструктурним виявили багатошарові покриття на алмазних фракціях, які легко деформуються при детонації, оскільки розташовуються як усередині різних за розміром зерен конгломерату, так і по їх границі у вигляді плівкового покриття ( $\times 4000$ , рис. 1.1).

Одночасно існують конгломерати, що складаються з оксидів металів в немагнітній складовій шихти, і вони при детонації деформуються в меншій мірі. У першому випадку при циклічній детонації алмазна фракція подрібнюється до нано- і дисперсних включень, а в другому - їх розмір значно більший і вимірюється в мкм. Це пов'язано з тим, що такі включення спікаються в слабкодеформувемій оболонці з оксидів металів. Алмазна фракція в цих двох варіантах формування зерен конгломерату є стабільною



завдяки такому способу детонації і це підтверджується тим, що протягом п'яти років зберігання вона не розпадається з утворенням графіту. Алмазна фаза з менш пластичним покриттям краще виявляється при використанні такої шихти в структурі нанесеного зміцнюючого покриття. Виконано аналіз конгломератів шихти.

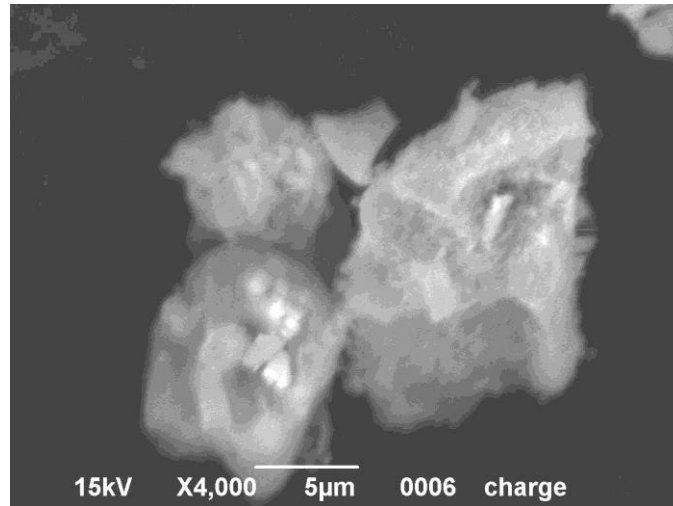


Рисунок 1.1– Алмазна фракція в немагнітній складовій шихти в плівковій оболонці металів

Немагнітна складова шихти, оцінена методом спектрального аналізу (табл. 1.1), показала, що основними її компонентами є, %: 6,42 Fe (можливо  $\gamma$ -Fe); 13,30 Cu; 5,69 Al; 8,23 Ti; 13,37 Mg; 1,63 V; 5,88 Zn; 16,98 Sn [4, 5].

Найбільш ефективною для зміцнення відновних покриттів є немагнітна складова шихти з нано- і дисперсними алмазами. Вона містить більше модифікуючих домішок – Al, Mg, Y.

Така шихта включає 24 компоненти, що на 33% більше, ніж магнітна складова, в якій відсутні такі як: Al, Si, Zn, V, Hf, Ta, W, Bi і Ag. З усієї статистичної вибірки такі компоненти в більшій мірі присутні в єдиних зернах, хоча в деяких з них середня концентрація досягає 13,37 Mg, 5,69 Al, 1,63 V і 0,86 W. Середня частка інших компонентів, виявлених в одиничних зернах конгломерату, сумарно не перевищує 0,01-0,58%.

При використанні немагнітної складової шихти в якості модифікуючої домішки найбільш ефективним є її введення в кількості 5-7% від частки

електрода або дроту. При перерахунку середня частка модифікуючої домішки, що вводиться в рідку ванну становитиме, %: 0,8 Mg; 0,34 Al; 0,02 Si; 0,49 Ti; 0,03 Fe; 0,005 Ni; 0,003 Zr; 0,1 V; 0,03 Cr; 0,02 Mn; 0,8 Cu; 0,35 Zn; 0,05 Y; 0,01 Mo; 0,22 Hf; 0,005 Ta; 0,05 W; 1,35 Pb і 0,21 C (нано- та дисперсних алмазів).

Таблиця 1.1– Хімічний склад немагнітної складової шихти, %

Елемент	№ зерна					Середнє значення
	1	2	3	4	5	
Mg	-	66.83	-	-	-	13.37
Al	-	28.46	-	-	-	5.69
Si	-	1.95	-	-	-	0.39
Ti	20.19	-	-	11.01	9.96	8.23
V	8.16	-	-	-	-	1.63
Cr	1.17	-	-	0.66	0.54	0.47
Mn	0.86	0.04	-	0.46	0.44	0.36
Fe	6.23	0.46	4.91	9.61	10.88	6.42
Ni	0.01	-	-	0.21	0.18	0.08
Cu	7.81	1.45	9.15	25.01	23.09	13.30
Zn	-	0.82	4.63	11.36	12.61	5.88
Y	2.58	-	-	0.72	0.77	0.82
Zr	0.24	-	-	-	-	0.05
Mo	0.44	-	-	0.18	0.13	0.15
Sn	5.48	-	71.19	4.52	3.7	16.98
Hf	2.9	-	-	-	-	0.58
Ta	0.41	-	-	-	-	0.08
W	4.24	-	-	-	-	0.85
Pb	39.24	-	8.13	30.39	34.67	22.48
Bi	0.06	-	-	-	-	0.01
Ag	-	-	0.4	0.08	-	0.10
Sb	-	-	1.6	2.09	-	0.74
Co	-	-	-	1.12	1.09	0.44
Cd	-	-	-	2.58	1.94	0.90

Виходячи з отриманої інформації по компонентах та їх частці в шихті при використанні в якості модифікатора немагнітної складової фракції, слідує, що основними модифікуючими домішками є Mg, Al, Ti, а легуючою – Cu. Середня кількість алмазної фракції, оціненої за часткою вуглецю

методом хімічного аналізу в такій шихті становить 3,45% С, а при введенні її з шихтою для модифікування не перевищить 0,21%. При нанесенні відновлювальних покриттів компоненти з низькою температурою плавлення будуть впливати на поверхню і їх можна видалити при механічній обробці.

Раніше були проведені дослідження щодо можливості використання немагнітної фракції шихти для модифікування відновлювальних покриттів наплавленням на деталі вали [7-10]. Виявлено, що при цьому знос зменшується на 39-56%. Також проведені дослідження по введенню немагнітної фракції детонаційної шихти в рідку ванну при заплавці тріщин в корпусних деталях із сірого чавуну [11-14]. Відновлення дефектів заплавленим з використанням вторинної сировини – детонаційної шихти від утилізації боєприпасів підтвердило ефективність такої модифікуючої домішки при дозованому її введенні в рідку ванну.

Одночасно були проведені дослідження щодо можливості модифікування магнітної фракцією детонаційної шихти [15-17]. Зносостійкість таких покриттів підвищилася на 20-25%.

Виходячи з отриманих результатів, дослідження щодо можливості застосування немагнітної фракції для модифікування поверхонь, які працюють в різних умовах експлуатації, є актуальними і можуть отримати подальший розвиток.

## РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ, ВИКОРИСТОВУВАНІ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПРИ  
ВИГОТОВЛЕННІ, РЕМОНТІ Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Нано- і дисперсні алмази, отримані спеціальними методами, є дуже великокоштовними модифікуючими домішками, тому їх використання істотно знижує економічну ефективність технологічного процесу зміцнення та відновлення робочих поверхонь

Економія може суттєво зрости, якщо використовувати вторинну сировину, яка включає такі ж домішки. Досвід щодо їх використанню отриманий на кафедрі технологічних системи ремонтного виробництва Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, а потім вже на кафедрі сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка Державного біотехнологічного університету. У роботі використовується напрями застосування вторинної сировини детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, а також принципово новий метод – застосування природного матеріалу – глини.

Для модифікування відновлювального шару наплавленням, підвищення його якості, зносостійкості або ж введенням домішок у пластичне мастило для стабілізації роботи різьбових спряжень, підвищення зносостійкості використовували немагнітну частку з алмазною фракцією детонаційної шихти. Аналізували вплив різної частки та її кількості, фракції і способи введення.

Детонаційна шихта, яку оцінювали локальним спектральним методом, складається з наноалмазів (3,37-3,43% C), інших компонентів (S, Ca, Mg, K, Na, Fe, O) сумарно до 10%, а хімічний аналізом всієї частки шихти виявлено, що найбільшу концентрацію мають компоненти C, Si та Fe (табл. 2.1).

Для утилізації використовували патрони бойові й освітлювальні [3-5], строк зберігання яких закінчився, відповідно діючій нормативній документації.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад детонаційної шихти від утилізації боєприпасів спеціального набору, % (хімічний аналіз)

C	Cu	Fe
3,37-3,43	до 3,14	до 2,9%

Патрони утилізували методом спалювання при нагріванні до температури мимовільної їх детонації з доступом кисню [18]. Далі шихта при такому способі утилізації була розподілена на першому етапі на дві фракції: немагнітну й магнітну.

Проведеними експериментами було встановлено, що отриману методом детонації дрібну шихту можливо легко поділити на групи її з'єднань наступними обробками: магнітну (виділяється фракція, що містить максимальну частку кисневих включень заліза) та немагнітну – просівом через сито (відділяється разом з нано- і мікродисперсними алмазами фракції й частково кисневі з'єднання міді, заліза та алюмінію) і більш груба сфероїдізована фракція, що містить мідь, вуглець, залізо та інші компоненти. Ці компоненти рекомендується використовувати при плавленні в металургійних процесах.

Існує велика кількість методів відновлення працездатності культиваторних лап. Найбільш затребуваним є їх відновлення з нанесенням покриттів наплавленням. Для цього найчастіше використовують електроди Т-590, Т-620 (табл. 2.2), які підвищують зносостійкість покриттів. Для цього також використовують різні способи модифікування металу відновлювального покриття. Найчастіше додатково вводять модифікатор у вигляді обмазки електрода або шлікерного покриття [19].

Для реалізації цього процесу на електрод наносили тонке покриття немагнітної детонаційної шихти та бентонітової глини. Оцінку хімічного складу такої глини виконано мікрорентгеноспектральним аналізом на енергодисперсійному спектрометрі «Спрут» СЭФ 01 М. За результатами аналізу виявлені наступні компоненти, %: 1,65 Fe, 0,25 K, 0,15 Ca, 0,06 S, 0,2 Mg, 54,88 Si, 32,42 Al, 0,3 Na. Глину для модифікування використовували у

вигляді роздрібленого порошку. Її змішували з клеєм ПВА на водній основі й наносили тонким рівномірним шаром на поверхню електрода. Потім електрод просушували при кімнатній температурі 24 год, далі 2 год при  $t = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а далі використовували його для формування покриття наплавленням. Частка модифікатора, що наносилася, відносно електрода становила 6-8%, тобто, %: 0,099-0,132 Fe, 0,015-0,02 K, 0,009-0,012 Ca, 0,0036-0,0048 S, 0,012-0,016 Mg, 3,29-4,39 Si, 1,94-2,59 Al, 0,018-0,024 Na. Виходячи із цього, можливо розраховувати на помітне збільшення концентрації кремнію й алюмінію в покритті. Нанесення покриття наплавленням проводили на стрілчасту лапу культиватора зі сталі 65Г.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад електрода Т-620, %

C	Si	Mn	Cr	Ti	B	S
3,0	2,2	1,2	22,5	0,7	0,8	0,03

Таблиця 2.3 – Хімічний склад використовуваної бентонітової глини, %

Загальний склад глини	Fe	K	Ca	S	Mg	Si	Al	Na
	1,65	0,25	0,15	0,06	0,2	54,88	32,42	0,3
Частка модифікатора, що вводиться, в покриття (6%)	0,10	0,02	0,01	0,004	0,012	3,3	1,95	0,02

У сьогоденні широко застосовується відновлення деталей з використанням вторинної сировини. Як відомо, чим дисперсніша домішка, яка додається у рідку ванну, тим однорідніший розподіл хімічних компонентів по перетину відновленого шару, що в свою чергу впливає на зміну мікротвердості. Раніше проводили дослідження з використання вторинної сировини зольних відходів, детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, шунгіту, які подрібнювали вручну та просіювали на різних решетах для використання дрібної фракції [20-23].

Використання бентонітової глини передбачало отримання її вже у подрібненому вигляді. Для аналізу впливу глин з місцевих родовищ використовували кульовий млин [24]. Запропоновано технологію отримання дисперсної домішки глини.

## РОЗДІЛ 3

### СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ ЇХ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ

3.1 Експериментальні дослідження покриттів з використанням нано- і дисперсної алмазовмісної шихти й сировини природного походження – глини

3.1.1 Застосування нано- і дисперсної алмазовмісної шихти при наплавленні відновлювальних і зміцнюючих покриттів

Необхідні властивості відновлювальних покриттів звичайно забезпечують легуванням і модифікуванням із введенням до складу домішки спеціальних компонентів або їх з'єднань. Існує велика кількість методів їх введення в рідку ванну. Всі ці методи й параметри при відновлювальному наплавленні визначаються ефективністю використання деталей в експлуатації.

У якості модифікуючої домішки використовували немагнітну фракцію детонаційної шихти від утилізації боєприпасів з алмазами. Така шихта, за даними хімічного аналізу включає нано- і дисперсні алмази 3,37-3,43% С, а також мідь (до 3,14%) і залізо ( до 2,9%). Детонаційна шихта, що включає нано- і дисперсні алмази, які не розчиняються в рідкій фазі, можуть підвищити зносостійкість покриття завдяки зміні умов кристалізації. В підсумку досліджували три різні варіанти нанесення покриття. Для цього використовували електрод Т-620 з додатковим модифікуванням його обмазкою немагнітною фракцією детонаційної шихти [25] і нанесенням шихти у вигляді шлікерного покриття на поверхню культиваторної лапи. Наплавлення зміцнюючих смуг робили на лапу вітчизняного виробництва, яка виготовлена зі сталі 65Г.

Для відновлювального наплавлення використовували карбидовмісний електрод Т-620, який стандартно застосовують на підприємствах. Хімічний



склад електрода наступний, %: 3,0 C; 2,2 Si; 1,2 Mn; 22,5 Cr; 0,7 Ti; 0,8 B; 0,03 S. Такий матеріал електрода забезпечує підвищення зносостійкості відновленого шару, але характеризується більшим тепловкладенням, і використання такої технології відновлювального наплавлення на тонкостінні деталі сприяє її проплавленню й пошкоджуваності при нанесенні покриттів. Спостережуване знижує якість і експлуатаційні показники, що вимагає зниження температури рідкої ванни.

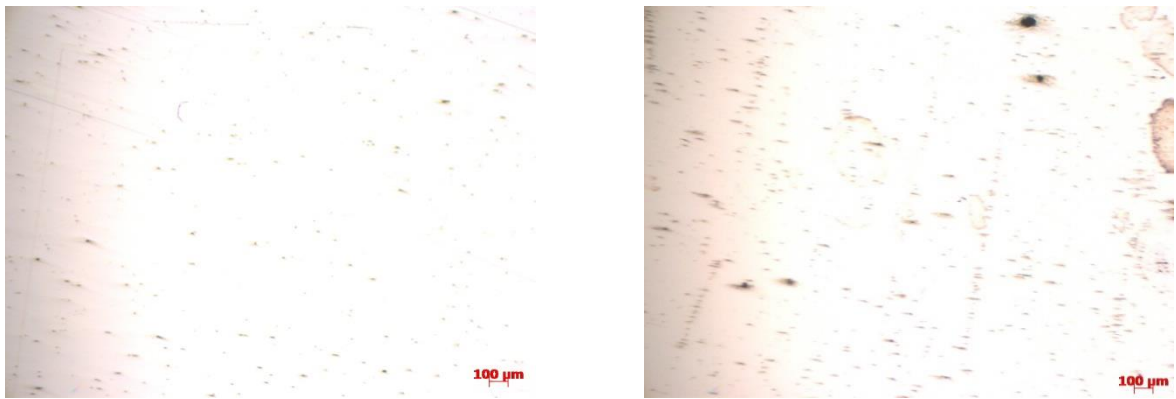
Раніше виконаними дослідженнями [25] було встановлено, що оптимальною часткою модифікуючої домішки є 5-7%. Використовували наступні параметри при наплавленні: сила струму 160А, напруга 28В, швидкість наплавлення 17-19 м/год.

Виготовлені шліфи піддавали різному травленню. Основу травили 4% розчином азотної ( $\text{HNO}_3$ ) кислоти в етиловому спирті, а наплавлене покриття – «царською горілкою» (сумішшю концентрованих азотної  $\text{HNO}_3$  і соляної  $\text{HCl}$ ).

На першому етапі була проведена оцінка структури. Для цього використовували металографічний мікроскоп Axio Vert A1. Одночасно оцінювали й розмір сформованих неметалевих включень [26, 27], які можуть впливати на якість і властивості відновленого шару при експлуатації.

У покритті при відновлювальному наплавленні тільки електродом виявлена трохи менша кількість точечних неметалевих включень (рис. 3.1), чим при його модифікуванні шихтою (рис. 3.2, а), внесеної в рідку ванну шляхом обмазки електрода. Аналогічна картина зі збільшенням неметалевих включень спостерігається й при введенні детонаційної шихти у вигляді шлікерного покриття (рис. 3.2, б).

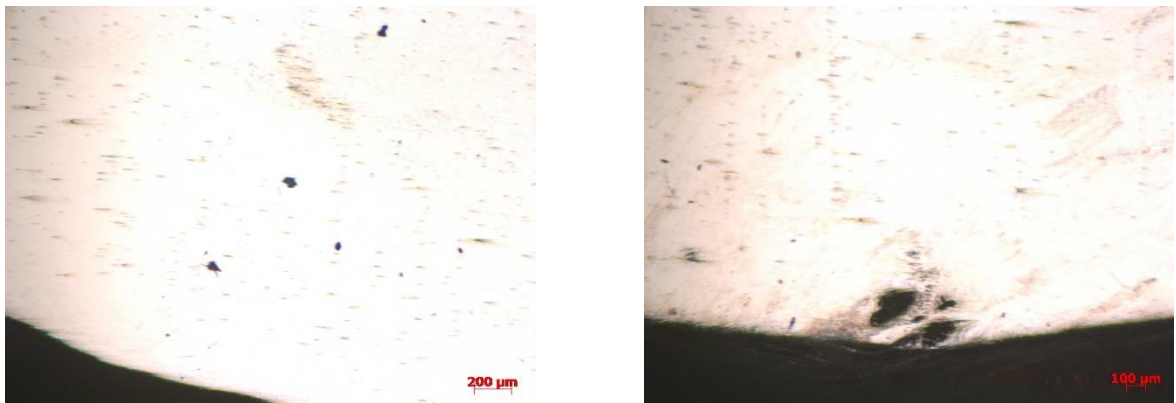
На рис. 3.3 наведені зіставні панорами мінливості мікроструктур по перетину відновленого шару. При введенні модифікаторів (шихти) у рідку ванну структура металу покриття суттєво змінюється. Вона стає більш однорідною. Це пов'язане із зміною температури при наплавленні й подрібненням карбідів. Формується мартенситна структура відпуску матриці.



а

б

Рисунок 3.1 – Неметалеві включення в покритті відновленого шару електродом Т-620 (а) і основного металу (б),  $\times 200$



а

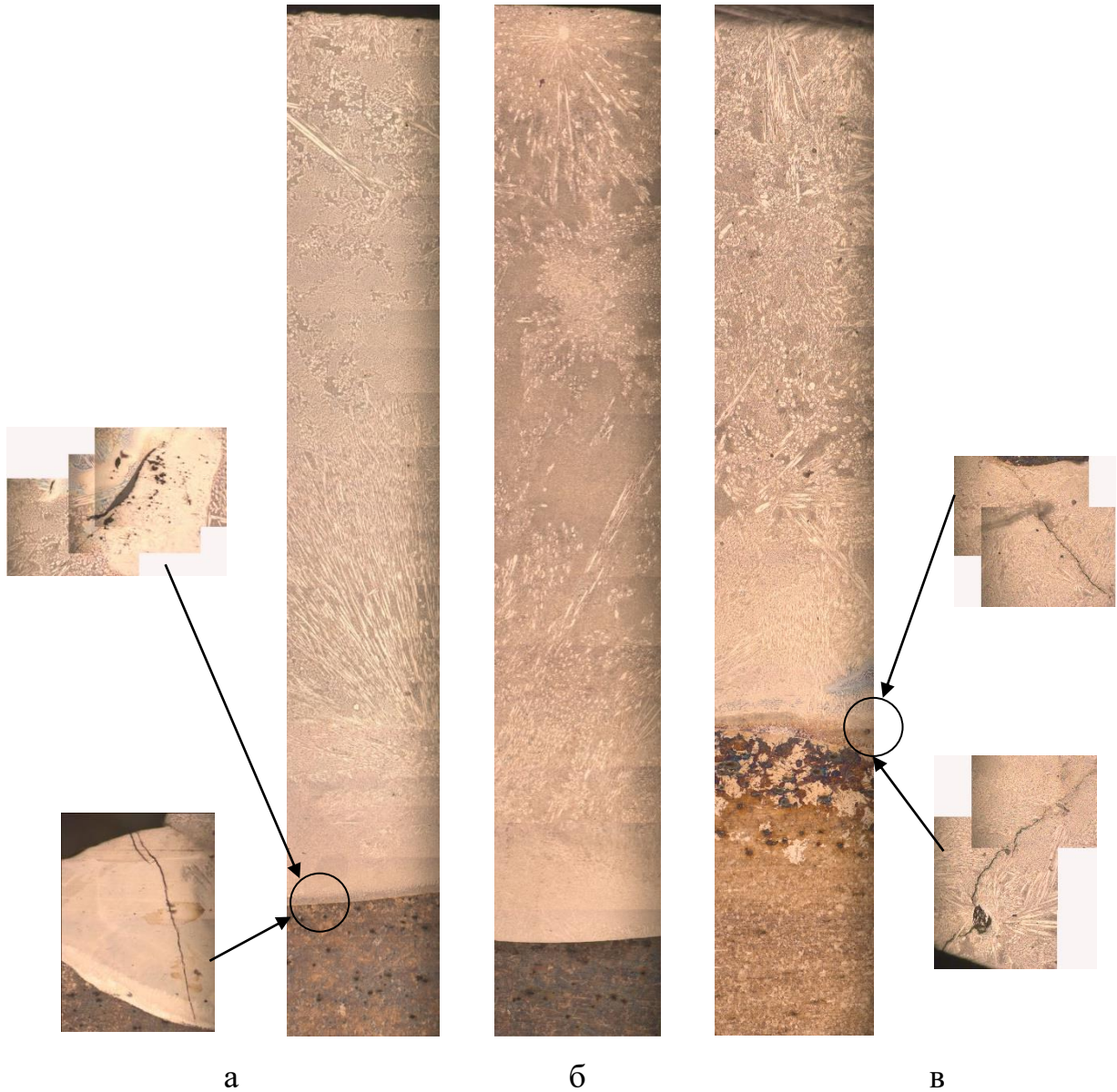
б

Рисунок 3.2 – Неметалеві включення в покритті відновленого шару електродом Т-620 з додатковим модифікуванням обмазкою немагнітною фракцією детонаційної шихти (а) і електродом Т-620, а у випадку шлікерного покриття (б),  $\times 200$

Зміцнююче покриття наносили у вигляді смуг [28, 29]. Структури при наплавленні без модифікування й з шлікерним покриттям немагнітною фракції детонаційної шихти супроводжувалися тріщиноутворенням в зоні змінної товщини лезо-основа, а також і в інших частинах лапи.

Що стосується формування дефектів (пор, раковин і тріщин), слід зазначити, що в зоні нанесення зміцнюючих смуг при наплавленні без модифікування формується більш неоднорідна структура з формуванням зон

грубих, тонких і протяжних розеток карбідів у границі сплавлення, що характеризується підвищеною мікротвердістю.

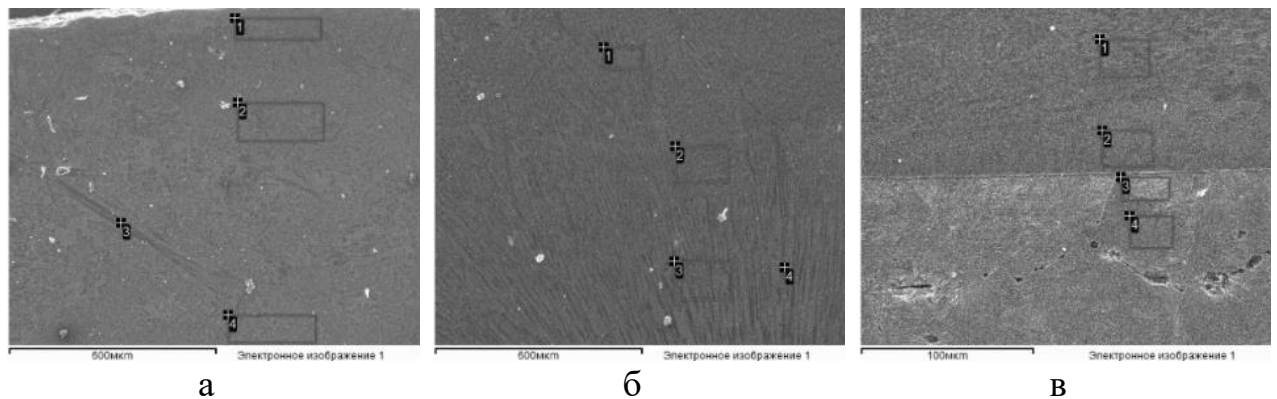


а – наплавлення електродом Т-620; б – наплавлення електродом Т-620 з додатковим введенням немагнітної фракції детонаційної шихти; в – наплавлення електродом Т-620 по шлікерному покриттю немагнітної фракції детонаційної шихти

Рисунок 3.3 – Мікроструктура по перетину зразків,  $\times 200$  [25]

При модифікуванні детонаційною шихтою такі карбідні розетки більш рівномірно розподілені в металевій матриці, і замість протяжних тонких включень вони роздроблені, що сприяє формуванню більш однорідної структури, меншому напруженому стану перехідної зони, а також зниженню її довжини. У такому перехідному шарі повністю відсутні будь-які дефекти.

Для дослідження структуроутворення металу в покритті при більших збільшеннях, а також оцінки розподілу хімічних елементів по його зонах використовували електронну мікроскопію й локальний мікрорентгеноспектральний аналіз. Мікрорентгеноспектральним локальним аналізом (МРСА) оцінено розподіл хімічних компонентів по глибині наплавленої смуги відповідно до варіантів наплавлення – без- (рис. 3.4, табл. 3.1) і з використанням модифікуючої домішки (рис. 3.5-3.6, табл. 3.2-3.3).



а – поверхня наплавлення; б – середина; в – зона термічного впливу

Рисунок 3.4– Електронні фотографії структури наплавлених смуг електродом

Т-620 із вказанням зон МРСА

Таблиця 3.1 – Дані МРСА розподілу хімічних елементів по перетину  
наплавлених смуг електродом Т-620

Поверхня

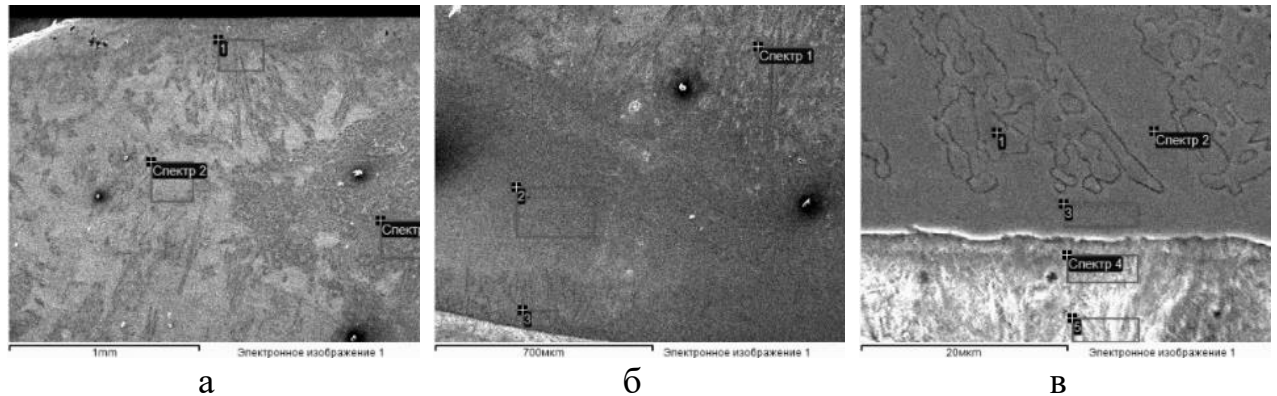
Спектр	С	О	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	8.71	3.15	0.51	1.69	22.24	5.38	55.47	0.34	2.50
2	8.91	2.78	0.19	1.48	24.05	4.96	54.61	0.86	2.15
3	10.51	-	-	0.05	42.71	5.49	39.47	-	1.77
4	7.71	2.52	0.17	1.60	23.35	5.34	56.83	0.84	1.64
Max	10.51	3.15	0.51	1.69	42.71	5.49	56.83	0.86	2.50
Min	7.71	2.52	0.17	0.05	22.24	4.96	39.47	0.34	1.64

Середина

Спектр	С	О	Al	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	8.05	2.42	0.23	1.53	0.18	24.24	5.75	54.81	0.81	1.98
2	7.60	2.37	0.29	1.60		22.85	5.55	57.03	0.36	2.37
3	7.69	1.60	0.29	1.55	0.09	24.04	5.53	56.86	0.34	2.02
4	9.43					42.95	5.19	41.00		1.43
Max	9.43	2.42	0.29	1.60	0.18	42.95	5.75	57.03	0.81	2.37
Min	7.60	1.60	0.23	1.53	0.09	22.85	5.19	41.00	0.34	1.43

Перехідна зона

Спектр	С	О	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	7.14		0.26	1.60	21.96	5.35	61.26	0.29	2.14
2	7.01	2.30	-	1.27	13.91	3.90	70.29	-	1.32
3	6.65	3.39	0.17	0.19	0.28	0.99	88.32	-	-
4	5.55	2.11	-	0.17	-	0.92	91.24	-	-
Max	7.14	3.39	0.26	1.60	21.96	5.35	91.24	0.29	2.14
Min	5.55	2.11	0.17	0.17	0.28	0.92	61.26	0.29	1.32



а – поверхня наплавлення; б – середина; в – зона термічного впливу

Рисунок 3.5 – Електронні фотографії структури наплавлених смуг електродом Т-620 з модифікуванням немагнітною фракцією детонаційної шихти із вказанням зон МРСА

Таблиця 3.2– Дані МРСА розподілу хімічних елементів по перетину наплавлених смуг електродом Т-620 з модифікуванням немагнітною фракцією детонаційної шихти

#### Поверхня

Спектр	С	О	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	12.98	2.28	0.22	1.17	17.05	3.90	61.12	1.27
2	10.78			1.28	18.19	4.12	64.15	1.47
3	14.06		0.59	1.37	19.13	4.23	58.61	2.01
Max	14.06	2.28	0.59	1.37	19.13	4.23	64.15	2.01
Min	10.78	2.28	0.22	1.17	17.05	3.90	58.61	1.27

#### Середина

Спектр	С	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	13.12		1.39	18.58	4.19	61.07	1.65
2	9.28	0.47	1.45	17.06	3.79	66.54	1.41
3	9.23		1.30	15.47	3.60	68.80	1.60
Max	13.12	0.47	1.45	18.58	4.19	68.80	1.65
Min	9.23	0.47	1.30	15.47	3.60	61.07	1.41

## Перехідна зона

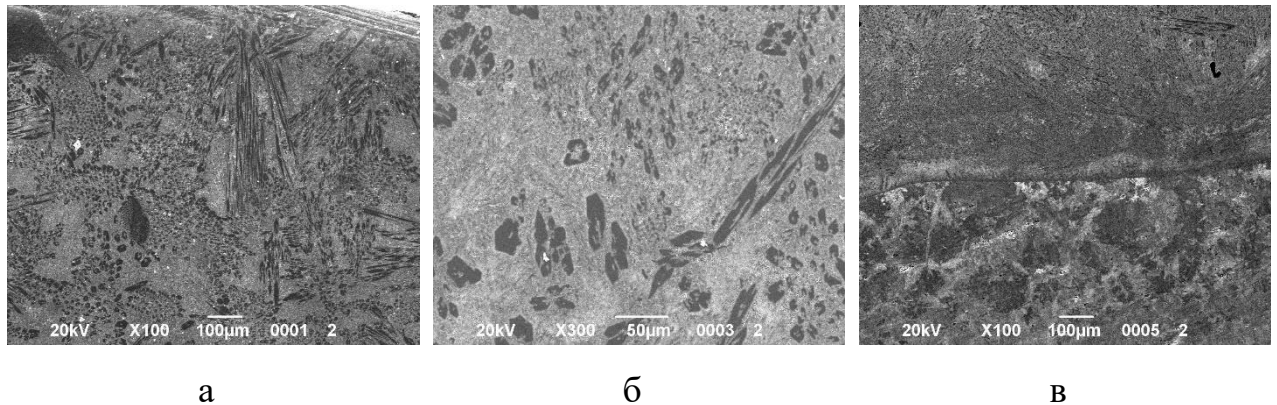
Спектр	C	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	13.61	0.55	23.14	3.66	57.77	1.27
2	10.78	1.39	7.88	2.72	77.24	
3	9.82	1.20	16.30	3.28	68.62	0.78
4	8.06	0.98	5.79	2.28	82.89	
5	11.20	0.24	0.46	1.11	86.98	
Max	13.61	1.39	23.14	3.66	86.98	1.27
Min	8.06	0.24	0.46	1.11	57.77	0.78

При модифікуванні немагнітною фракцією детонаційної шихти (рис. 3.5, табл. 3.2) металу наплавленням в смузі знижується температура рідкої ванни (наявність мікрохолодильників – алмазів) і змінюються умови кристалізації. Це супроводжується збільшенням середньої частки карбідної фази на 27% у верхній зоні, у середній на – 32% і перехідній – 70%. Крім того, однорідність розподілу вуглецевмісних фаз у наплавлених смугах більш рівномірна по перетину при модифікуванні вторинною шихтою. Так, при традиційному наплавленні концентрація вуглецю у верхній зоні змінюється в межах 2,8%, середній 1,83% і перехідній – 1,64%. У випадку модифікування відзначається більша однорідність у розподілі цього компонента в різних зонах. Це відповідає й досягнутим показникам рівня мікротвердості. При традиційному способі наплавлення відзначається значна частка кисню у всіх зонах аналізу до 1,6-3,39%. При модифікуванні вторинною шихтою (див. табл. 3.2) цей компонент виявлений тільки у верхній зоні наплавлення (2,28%). Що стосується розподілу компонентів Mn, Si, Mo, то вони близькі за концентрацією в порівнюваних варіантах. Щодо частки заліза, то його середнє значення на 8,4% більше при модифікуванні, а у верхній і середній зонах відрізняється ще більш суттєво – на 14,5%. Спостережуване можна пояснити формуванням у цих зонах більшої частки карбідів цементитного типу.

Розподіл хрому за трьома аналізованими зонами в 2,2 рази більш

рівномірний при використанні модифікування з нанесенням смуг наплавленням, що досягається подрібненням карбідних фаз при кристалізації.

Незначну тенденцію підвищення Al при модифікуванні можна пояснити тим, що цей компонент входить до складу детонаційної шихти. Виявлено, що його частка в різних зонах наплавлення (верх, середина) змінюється в межах 0,17-0,51% при традиційному наплавленні смуг і – 0,22-0,59% у випадку модифікування вторинною шихтою. Відсутність істотної різниці в змісті компонентів Al і Si, якими засмічений основний метал, може бути пов'язана зі зміною концентрації цих компонентів з урахуванням того, що при традиційному нанесенні смуг наплавленням такі включення спливають в зону покриття і її засмічують, а при модифікуванні вони в більшій мірі спливають. При наплавленні електродом по шлікерному покриттю немагнітної фракції детонаційної шихти (рис. 3.6, табл. 3.3) відбувається підвищення концентрації C до 18,53%. При звичайному наплавленні електродом вуглець становить максимум 9,43%. Також проявляються сліди Zr. Його концентрація коливається від 0,32 до 0,65% по всьому перетину покриття.



а

б

в

а – поверхня; б – середина; в – перехідна зона

Рисунок 3.6 – Електронікроскопічна структура по перетину покриття наплавленого металу електродом Т-620 по шлікерному покриттю немагнітної фракції детонаційної шихти



Таблиця 3.3– Дані МРСА розподілу хімічних елементів по перетину наплавлених смуг електродом Т-620 по шлікерному покриттю не магнітної фракції детонаційної шихти

Поверхня наплавлення

Спектр	C	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	10.45	2.79		0.95	26.94	4.68	51.93	0.62	1.63
2	6.72	1.80	0.30	2.16	13.71	5.44	67.45	0.32	2.11
3	6.84	1.79		1.46	22.05	5.21	60.14	0.50	2.01
4	11.55	1.12			38.41	4.89	41.72	0.46	1.84
Max	11.55	2.79	0.30	2.16	38.41	5.44	67.45	0.62	2.11
Min	6.72	1.12	0.30	0.95	13.71	4.68	41.72	0.32	1.63

Середина наплавлення

Спектр	C	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	7.48	0.26	1.62	20.62	4.99	62.27	0.65	2.12
2	6.88	0.31	2.03	15.37	4.85	67.55	0.56	2.45
3	18.53		0.14	39.45	4.27	36.48		1.13
4	18.06		0.07	38.26	4.17	38.23		1.21
Max	18.53	0.31	2.03	39.45	4.99	67.55	0.65	2.45
Min	6.88	0.26	0.07	15.37	4.17	36.48	0.56	1.13

Перехідна зона

Спектр	C	O	Al	Si	S	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	6.17		0.20	1.72		19.91	4.64	65.21	0.40	1.75
2	6.32		0.28	1.59	0.45	14.64	4.41	71.71	0.60	
3	5.63	1.74	0.27	0.99		4.87	2.01	84.01		0.47
4	5.97	2.95		0.15			1.15	89.77		
Max	6.32	2.95	0.28	1.72	0.45	19.91	4.64	89.77	0.60	1.75
Min	5.63	1.74	0.20	0.15	0.45	4.87	1.15	65.21	0.40	0.47

Вміст Al у всіх зонах практично не змінюється, і становить ~ 0,275%. У середній частині наплавлення не виявлений кисень. Підвищення Cr по зонах

коливається від 2,5 до 4 раз. Істотної зміни наплавлення по шлікерному покриттю не вносить. Вплив структурних змін та їх ефективність можуть бути визначені тільки при випробуваннях, що моделюють зношування, або в умовах експлуатації в машинах.

### 3.1.2 Застосування природної сировини – глини для модифікування покриттів

В якості модифікуючої домішки використовували бентонітову глину [25, 30]. Вибір цього матеріалу обумовлений тим, що використання як модифікатор глини, яка містить окисли кремнію й алюмінію, можуть добре протистояти й пручатися зношуванню з аналогічним матеріалом, що входять до складу ґрунту.

Для реалізації цього процесу на електрод наносили тонке покриття бентонітової глини. Оцінку хімічного складу такої глини виконано рентгеноспектральним аналізом на енергодисперсійному спектрометрі «Спрут» СЕФ 01 М. За результатами аналізу виявлені наступні компоненти, %: 1,65 Fe, 0,25 K, 0,15 Ca, 0,06 S, 0,2 Mg, 54,88 Si, 32,42 Al, 0,3 Na. Глину для модифікування використовували у вигляді подрібненого порошку. Його змішували з клеєм ПВА на водній основі й наносили тонким рівномірним шаром на поверхню електрода. Електрод просушували при кімнатній температурі в період 48 год. Частка наносимого модифікатора стосовно електрода становила 6-8%, тобто, %: 0,099-0,132 Fe, 0,015-0,02 K, 0,009-0,012 Ca, 0,0036-0,0048 S, 0,012-0,016 Mg, 3,29-4,39 Si, 1,94-2,59 Al, 0,018-0,024 Na. Виходячи із цього, можна чекати помітне збільшення концентрації кремнію й алюмінію. Нанесення покриття наплавленням здійснювали на стрілчасту лапу культиватора зі сталі 65Г.

Лабораторними дослідженнями зразків двох варіантів наплавлення: електродом Т-620 і з додатковим модифікуванням глиною виготовили шліфи, які піддавали різному травленню. У покритті при відновлювальному

наплавленні електродом виявлена менша кількість неметалевих включень (див. рис. 3.1), чим при його модифікуванні глиною (рис. 3.7), внесеної в рідку ванну шляхом обмазки електрода. На рис. 3.8 наведені зіставні панорами мінливості мікроструктур по перетину відновленого шару. При введенні глини в рідку ванну структура металу покриття суттєво змінюється. Вона стає більш однорідною. Це пов'язане зі зміною температури при наплавленні. В обох варіантах (див. рис 3.3, а, та рис. 3.7) формуються мартенситна структура відпуску матриці. При модифікуванні глиною не виявлене формування будь-яких дефектів.



Рисунок 3.7 – Неметалеві включення в покритті відновленого шару електродом Т-620 з модифікуванням глиною,  $\times 200$

Для дослідження структуроутворення металу в покритті при більших збільшеннях, а також для оцінки розподілу хімічних елементів по його зонах використовували електронну мікроскопію й локальний мікрорентгеноспектральний аналіз.

Електронномікроскопічні зображення сформованої структури по перетину покриття металу при введенні глини наведені на рис. 3.9. Виявлена відмінність, яка полягає в наступному. При наплавленні тільки електродом формується більш груба структура із протяжними голчастими виділеннями карбідної фази. При модифікуванні глиною такі включення дробляться й одночасно з'являються карбідні виділення зернистого типу, рівномірно розподілені по перетину покриття як у вигляді окремих включень, так і зон. Така мінливість гетерогенної структури забезпечує досягнення більшої

однорідності в розподілі карбідної складової й меншої схильності її до пошкоджуваності при експлуатації. При введенні глини в покриття структура на поверхні й у середній його частині більш однорідна.

Спостережуване відбувається за рахунок зниження температури рідкої ванни при введенні модифікуючої домішки з компонентами K, Ca, Mg, Na, що входять до складу глини. Виявлені зміни й на границі сплавлення з основним металом. Для оцінки ступеня неоднорідності сформованої структури по перетину покриття провели електронікроскопічні дослідження, сполучені з оцінкою локальним спектральним аналізом (див. рис. 3.9 і табл. 3.4) по розподілу компонентів.

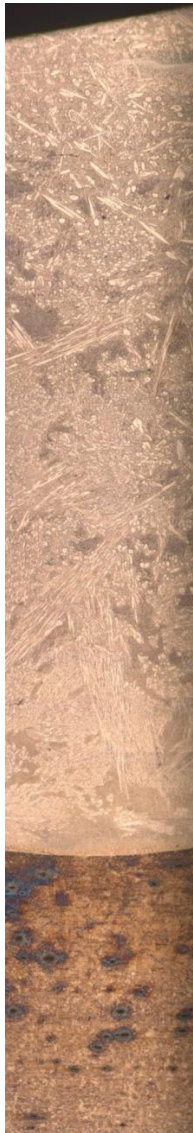
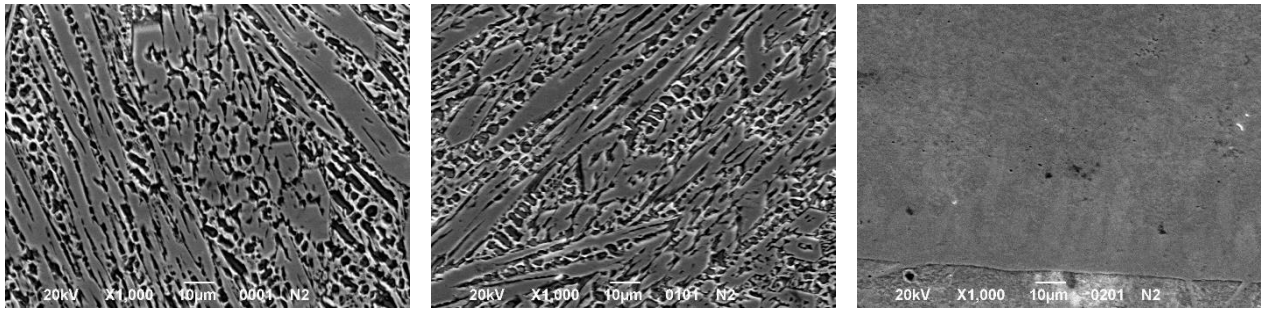


Рисунок 3.8 – Мікроструктура по перетину наплавлення електродом Т-620 з додатковим введенням бентонітової глини,  $\times 200$



а

б

в

а – поверхня; б – середина; в – перехідна зона

Рисунок 3.9 – Електронімікроскопічна структура по перетину покриття наплавленого металу електродом Т-620 при модифікуванні глиною, ×1000

Таблиця 3.4 – Хімічний склад наплавленого металу електродом Т-620 з модифікуванням бентонітовою глиною, %

Поверхня покриття

Спектр	С	О	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	11,97	0,95	-	0,04	0,03	42,09	4,82	38,47	-	1,64
2	9,94	15,98	0,15	4,82	0,17	7,60	4,21	49,91	0,65	6,57
3	10,89	4,49	0,12	1,06	0,08	33,71	4,93	42,17	0,42	2,14
4	9,57	9,56	0,17	3,05	0,10	15,78	5,23	52,33	0,85	3,36

Середина

Спектр	С	О	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	13,34	0,92	0,08	0,07	-	40,00	5,13	38,86	-	1,61
2	10,90	2,23	0,43	3,49	-	8,31	4,34	69,54	0,04	0,73
3	11,42	5,91	0,32	3,82	-	9,39	4,40	63,34	0,02	1,38
4	7,01	6,49	0,17	3,22	0,10	11,70	5,24	63,12	0,33	2,63

Перехідна зона

Спектр	С	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Zr	Mo
1	5,86	0,14	1,52	0,10	19,22	4,69	66,77	-	1,69
2	5,63	0,15	1,36	-	14,11	4,11	72,39	0,70	1,54
3	4,53	0,14	1,25	-	9,24	3,28	80,94	-	0,62
4	6,41	0,10	0,14	-	0,18	1,06	92,12	-	-

Одночасно переформатували ці таблиці й оцінили середні значення мінливості в розподілі компонентів порівняльно в різних зонах (табл. 3.5). Зіставний аналіз перехідної зони й термічного впливу показав, що при введенні модифікуючої домішки вони суттєво зменшуються ~ в 3 рази через зниження температури рідкої ванни. При відновленні наплавленням відносно тонкостінна культиваторна лапа практично повністю проплавляється, а при введенні модифікуючої домішки зберігається до 50% основного металу, що мінімізує схильність такого виробу до накоплення напружень, пошкоджуваності й підвищенню експлуатаційної стійкості. Через значну гетерогенність покриття не вдається оцінити середні показники мікротвердості по зонах аналізу. Ефективною може лише бути оцінка стабільності состава карбідів і матриці (табл. 3.5), виконана методом мікрорентгеноспектрального аналізу при дослідженні електронних зображень структури. У ряді випадків не вдалося провести аналіз всіх фаз і структурних складових через їхню дисперсність і локальної гетерогенності розподілу.

Аналізом встановлено, що у вихідному варіанті без введення модифікуючої домішки виявлений спецкарбід  $Me_7C_3$  містить %: 11,15-12,63 C; 40,10-42,38 Cr; 40,26-43,16 Fe; 4,13-4,46 Mn; 1,05-1,22 Mo. Склад карбиду такого покриття у відновленому шарі є досить стабільним, оскільки частка мінливості в ньому компонентів незначна.

Менш стабільним за вмістом компонентів є карбід типу  $Me_xC_y$ . Він містить %: 6,80-6,92 C; 1,68-2,21 O<sub>2</sub>; 0,18-0,21 Al; 0,98-1,84 Si; 15,28-15,78 Cr; 3,74-4,73 Mn; 1,09-1,82 Mo; 62,56-70,47 Fe; 0,87 Zr. При цьому, середня концентрація вуглецю в ньому знижується від поверхні покриття до перехідної зони на 20%, а інші компоненти перебувають у близьких межах. В верхній, перехідній і зоні сплавлення виявлений в одиничних випадках цирконій. В середній і перехідній зонах покриття відсутній алюміній, загальна частка якого в покритті мінімальна. Наявність у поверхневій і середній зонах покриття кисню, концентрація якого змінюється по його

перетину до 30%, імовірно можна пояснити недостатньо якісною підготовкою культиваторної лапи до нанесення відновлюючого покриття.

Таблиця 3.5 – Середні значення розподілу компонентів по зонах порівнюємих покриттів

Зона аналізу покриття	Тип покриття					
	наплавлення електродом Т-620			наплавлення електродом Т-620 з додатковим модифікуванням бентонітовою глиною		
	Me <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	Me <sub>x</sub> C <sub>y</sub>	матриця	Me <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	Me <sub>x</sub> C <sub>y</sub>	матриця
Верх	11,15 C; 41,24 Cr; 4,26 Mn; 42,185 Fe; 1,17 Mo	8,53 C; 1,83 O; 0,21 Al; 1,82 Si; 15,3 Cr; 4,685 Mn; 65,97 Fe; 1,65 Mo	-	11,43 C; 2,72 O; 0,06 Al; 0,55 Si; 0,055 Ti; 37,9 Cr; 4,875 Mn; 37,32 Fe; 0,21 Zr; 1,89 Mo	9,57 C; 9,56 O; 0,17 Al; 3,05 Si; 0,10 Ti; 15,78 Cr; 5,23 Mn; 52,33 Fe; 0,85 Zr; 3,36 Mo	9,94 C; 15,98 O; 0,15 Al; 4,82 Si; 0,17 Ti; 7,60 Cr; 4,21 Mn; 49,91 Fe; 0,65 Zr; 6,57 Mo
Середина	12,19 C; 0,46 O; 40,83 Cr; 4,43 Mn; 40,995 Fe; 1,09 Mo	7,67 C; 2,21 O; ; 1,70 Si; 15,73 Cr; 4,90 Mn; 65,97 Fe; 1,82 Mo	9,72 C; 2,21 O; 0,3 Al; 2,5 Si; 8,13 Cr; 3,83 Mn; 73,66 Fe; 0,63 Mo	13,34 C; 0,92 O; 0,08 Al; 0,07 Si; ; 40,00 Cr; 5,13 Mn; 38,86 Fe; 1,61 Mo	7,01 C; 6,49 O; 0,17 Al; 3,22 Si; 0,10 Ti; 11,70 Cr; 5,24 Mn; 63,12 Fe; 0,33 Zr; 2,63 Mo	11,16 C; 4,07 O; 0,375 Al; 3,655 Si; 8,85 Cr; 4,37 Mn; 66,44 Fe; 0,03 Zr; 1,055 Mo
Перехідна	-	6,80 C; 1,26 Si; 15,38 Cr; 4,13 Mn; 70,47 Fe; 0,87 Zr; 1,09 Mo	7,18 C; 2,96 F; 0,76 Si; 4,8 Cr; 2,02 Mn; 82,135 Fe; 0,125 Mo	5,86 C; 0,14 Al; 1,52 Si; 0,10 Ti; 19,22 Cr; 4,69 Mn; 66,77 Fe; 1,69 Mo	5,63 C; 0,15 Al; 1,36 Si; 14,11 Cr; 4,11 Mn; 72,39 Fe; 0,70 Zr; 1,54 Mo	5,47 C; 0,12 Al; 0,695 Si; 4,71 Cr; 2,17 Mn; 86,53Fe; 0,31 Mo

Аналіз матричної суміші фаз в середній частині покриття практично стабільний за усіма компонентами (C, O<sub>2</sub>, Al, Si, Cr, Mn, Mo, Fe, див. табл. 3.1). У перехідній зоні виявлений фтор, частка якого досягає 3,90-3,97% і пов'язане це з основним металом.

Інші компоненти в цій зоні змінюються в широких межах %: 4,43-8,48 C; 0,15-1,22 Si; 0,33-8,48 Cr; 1,0-2,84 Mn; 75,91-91,35 Fe.

Аналогічний порівняльний аналіз щодо розподілу компонентів у карбідних фазах і матриці провели на деталях тієї ж партії культиваторних лап, але з додатковим модифікуванням при відновлювальному наплавленні із домішкою бентонітової глини Харківського родовища.

Встановлено, що додаткове модифікування такою глиною при нанесенні покриття практично не змінює вміст вуглецю в карбідах і відповідає Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> а також Me<sub>x</sub>C<sub>y</sub> у всіх зонах, що зіставляються (верх покриття, середина й перехідна зона). Що стосується концентрації компонентів, які вносить електрод (Cr, Mn, Ti, C), то вони розподіляються досить рівномірно як при традиційному нанесенні покриття, так і з модифікуванням. Так, у карбідах Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub> і Me<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, які визначають рівень твердості й зносостійкості, локальна мінливість цих компонентів у верхній і середній зонах покриття практично не змінюється. Різниця лише полягає в тому, що електронні мікроструктури й локальний рентгеноспектральний аналіз виявили в карбідних фазах включення окремих дисперсних з'єднань типу Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і рідше SiO<sub>2</sub>. Можна припустити, що такі включення стали центрами кристалізації. Компоненти Al і Si не розчиняються в карбідних фазах. Разом з тим, у ряді випадків спостерігали, що з'єднання SiO<sub>2</sub> розпадалося й при цьому виявляли тільки Si. Спостережуване може бути пов'язане з тим, що глини природних родовищ включають тільки Si, тому що SiO<sub>2</sub> – кремнезем, який розчиняється у воді, а глина в контакт з вологою.

Одночасна поява включень Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і окремих SiO<sub>2</sub> у покритті без введення модифікатора може бути пояснено двома причинами: впливанням окислів, погано вилучених з основного металу відновлюваної культиваторної



лапи, у верхню зону покриттів і аналізом занадто тонких карбідів, при якому зондом мікроаналізатора захоплювали матричні фази. В середній і перехідній зонах наявність таких включень не виявляли. Кисень відсутній у перехідній зоні. Тому спостережуване може визначатися руйнуванням і впливанням окислів на поверхні відновлюваної деталі.

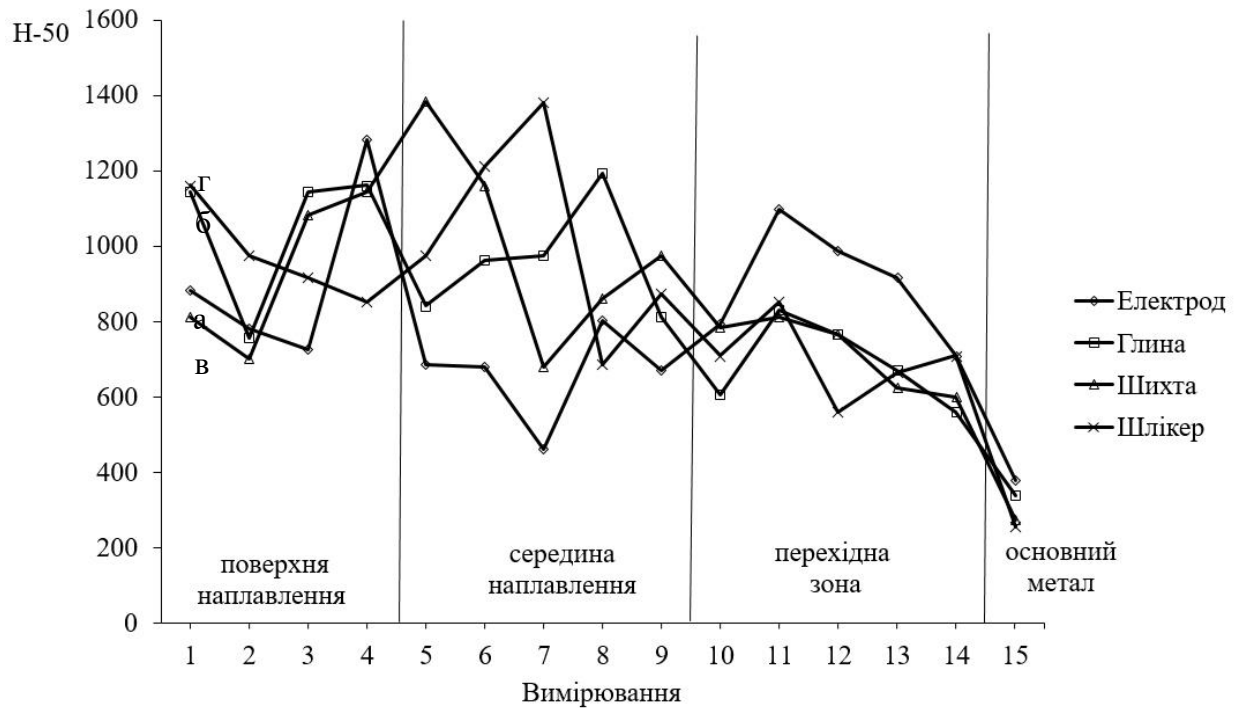
Локальний аналіз додатково виявив такі компоненти як Мо й Zr. Можна припустити, що Мо, який входить у карбідні фази як вихідного покриття, так і при його додатковому модифікуванні є компонентом електрода, а Zr, виявлений тільки при модифікуванні – до складу глини.

У порівняльних варіантах перехідна зона без модифікування відрізняється значним розкидом хімічних компонентів, що визначається більшим тепловідведенням і ліквідаційними процесами при змішуванні металу покриття й основи.

### 3.1.3 Дослідження властивостей нових покриттів

Для визначення впливу модифікування на рівень мікротвердості були проведені порівняльні дослідження варіантів зміцнення без і з модифікуванням домішками. На рис. 3.10 наведена залежність зміни середніх значень мікротвердості по глибині нанесених покриттів.

Якщо порівняти дані за рівнем мікротвердості й глибині покриття, то для вихідного варіанта вона, в середньому, склала HV-50-776, а модифікованого глиною й шихтою – HV-50-960 і HV-50-958 відповідно, тобто підвищення зміцнення покриття при додатковому модифікуванні досягає 23%. При використанні немагнітної фракції детонаційної шихти в якості шлікерного покриття середнє значення мікротвердості досягає HV-50-974, тобто відзначається підвищення зміцнення на 25%. З наведеної залежності видно, що на поверхні й у середині покриття відзначається підвищення мікротвердості більшою мірою, а до основи металу лапи – її деякий спад.



а – наплавлення електродом Т-620; б – з модифікуванням бентонітовою глиною;

в – з додатковим модифікуванням немагнітною фракцією детонаційної шихти;

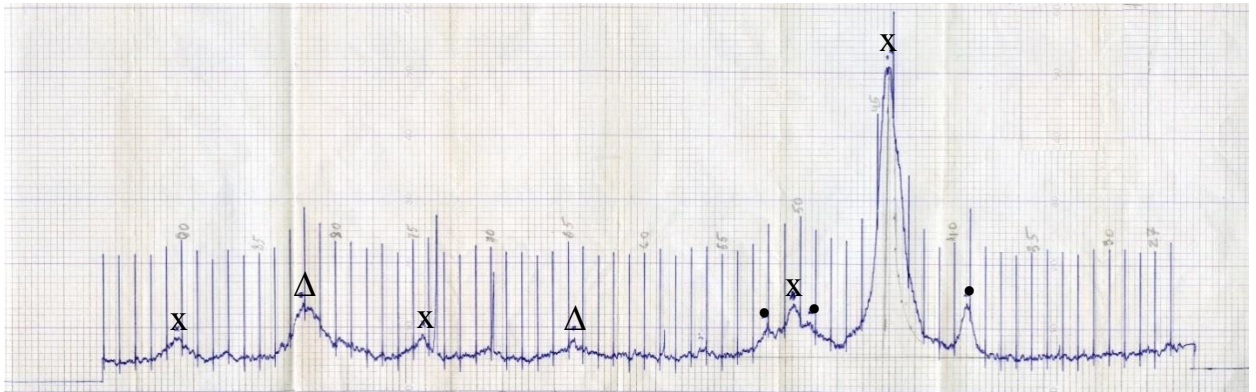
г – по шлікерному покриттю немагнітною фракцією детонаційної шихти

Рисунок 3.10 – Середні значення мікротвердості при модифікуванні відновлювального наплавлення

Проведені дослідження із впливу додаткового введення немагнітної фракції детонаційної шихти в рідку ванну [14, 19, 31] і описаний сформований фазовий склад. В даній роботі інтерес представляє оцінка впливу введення бентонітової глини на фазовий склад. Для визначення фазового складу сформованого покриття при введенні бентонітової глини в наплавлення виконали рентгенозйомку (рис. 3.11, 3.12) покриттів.

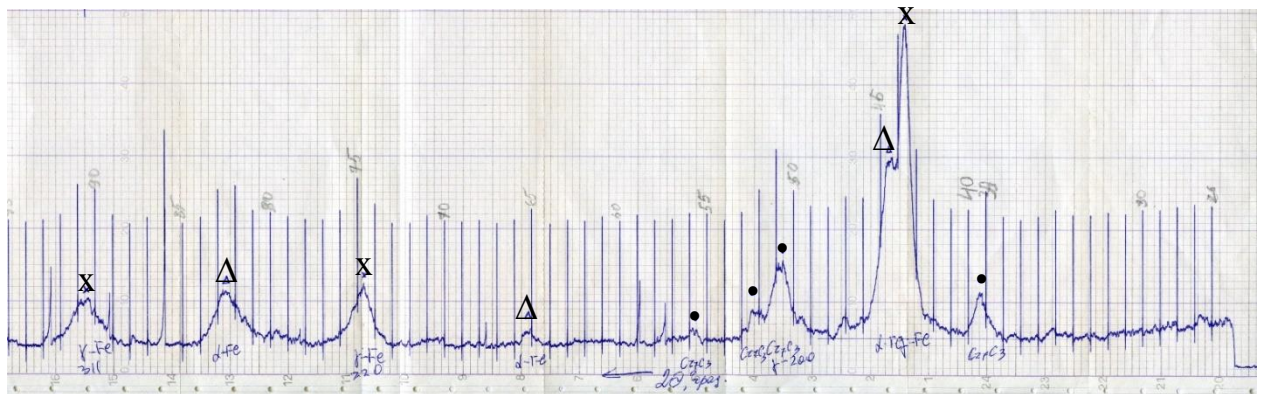
Порівняльно досліджували додаткове введення глини з наплавленням тільки електродом. Розшифрування дифрактограми показало: наявність  $\gamma$ -Fe,  $\alpha$ -Fe,  $Cr_7C_3$ . Якісний аналіз наплавлення електродом Т-620 показав, що основною фазою є  $\gamma$ -Fe (залишковий аустеніт), вміст якого  $\sim 30\%$ , а при

наплавленні електродом Т-620 з обмазкою глиною – основною фазою є  $\gamma$ -Fe (мартенсит відпуску, ~70%).



• -  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ; x -  $\gamma$ -Fe;  $\Delta$  -  $\alpha$ -Fe

Рисунок 3.11 – Дифрактограма наплавлення електродом Т-620



• -  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ; x -  $\gamma$ -Fe;  $\Delta$  -  $\alpha$ -Fe

Рисунок 3.12 – Дифрактограма наплавлення електродом Т-620 з обмазкою глиною

Також були проведені дослідження з оцінки міцності зчеплення наплавленого покриття з основою, відповідно запропонованої методики.

Тому що руйнування шару (відшаровування нанесеного покриття від основи) при вимірах у перехідній зоні не настало, то міцність зчеплення оцінювали за залежністю (3.1). Провівши дослідження одержали наступні результати (табл. 3.6).

Враховуючи малу товщину покриття, оцінку міцності зчеплення його з основою визначали за методикою Гуляєва – Гудцова [32]. Сутність даної

методики полягає в тому, що вимірювали довжину діагоналі відбитка, нанесеного алмазним індентором в зону границі наплавлений шар – перехідна зона. При цьому для розрахунків використовували залежність:

$$\sigma = \frac{2P}{d^2}, \quad (3.1)$$

де:  $P$  – навантаження на індентор, Н;

$d$  – довжина діагоналі відбитка, мм.

Таблиця 3.6 – Міцність зчеплення нанесених покриттів

Варіант наплавлення	Міцність зчеплення, МПа
Електрод Т-620	0,30
	0,44
Електрод Т-620 по шлікерному покриттю не магнітної фракції детонаційної шихти	0,53
	0,34
Електрод Т-620 з обмазкою немагнітною фракцією детонаційної шихти	0,21
	0,23
Електрод Т-620 з обмазкою глиною	0,36
	0,33

Оцінивши міцність зчеплення за запропанованою залежністю, одержали, що при нанесенні покриття тільки електродом вона забезпечується на рівні 0,30-0,44МПа, а при нанесенні покриття з введенням глини 0,33-0,36МПа, при введенні шихти у вигляді обмазки – 0,21-0,23МПа, а у вигляді шлікерного покриття – 0,34-0,53МПа. При цьому, незважаючи на більш низькі показники, й у першому, й у другому випадку при введенні глини розклинення, а також яких-небудь дефектів від кінців відбитків не фіксували. При цьому завдяки стабільним показанням міцності, а значить і локальних напружень, границі текучості такий метал із модифікуючими домішками забезпечить вимоги експлуатації. Таким чином, виявлено, що додаткове введення модифікуючої домішки глини у рідку ванну знижує міцність зчеплення наплавлення з основним металом. Для перевірки даних локальних показань необхідно провести польові випробування наплавлених деталей з додатковим введенням таких домішок.

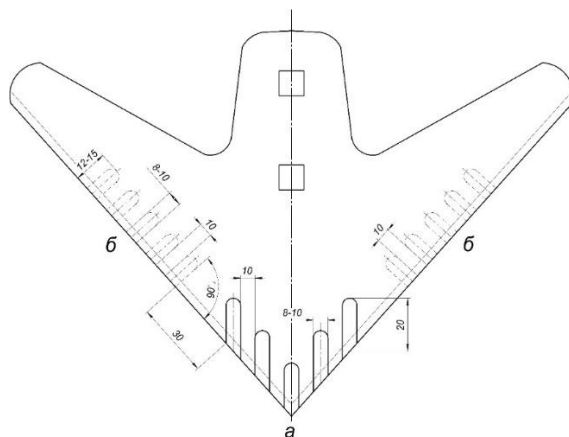
## РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

## 4.1 Спосіб зміцнення культиваторних лап наплавленням зміцнюючими смугами

На другому етапі, вивчивши характер зносу лап культиватора, запропоновано новий спосіб їх зміцнення по периметру робочої поверхні [28, 29]. Спосіб полягає в наплавленні на поверхню лапи зносостійких смуг (валиків) з введенням модифікуючої домішки з нано- і дисперсними алмазами. Смуги на стрілочастій лапі культиватора формували згідно рис. 6.7, з урахуванням інтенсивності та характеру її зносу. Згідно характеру зношування, зміцнюючим покриттям будуть сформовані смуги носка довжиною 20мм, а крил – 12-15мм з відстанню між ними не менше 10мм, щоб запобігти перекриття зон термічного впливу.

Оптимальні розміри смуг визначені з умов формування напруженого стану при наплавленні електродом, а також якістю покриття і схильністю металу до пошкоджуваності при зміцненні. Важливим є враховувати і виникаючі напруження в ріжучих кромках і перехідній зоні основи лапи – лезо, крилах при експлуатації. З урахуванням максимального зносу і деформації крил, зміцнюючі смуги в цих зонах наносили на протилежну поверхню щодо носку (рис. 4.1).



а – носок; б – крила

Рисунок 4.1 – Схема наплавлення зміцнюючих смуг на поверхню стрілочасті лапи культиватора

Для оцінки впливу модифікуючих домішок при нанесенні відновлювальних покриттів провели їх випробування на зносостійкість [25, 29, 33, 34]. Стендові випробування на зносостійкість проводили на машині тертя СМТ-1 на підприємстві ДП «Завод ім. В.О. Малишева». Відносну зносостійкість зразків, зміцнених різними способами відновлення поверхні деталей проводили і оцінювали за п'ятьма варіантами: 1 – вихідний матеріал культиваторної лапи - сталь 65Г; 2 – нанесенням покриття електродом Т-620 з додатковим модифікуванням немагнітною фракцією детонаційної шихти шляхом обмазки електрода; 3 – наплавка електродом Т-620 з використанням розплавлення шлікерного покриття немагнітної фракції детонаційної шихти; 4 – нанесення покриття електродом Т-620; 5 – наплавлення електродом Т-620 з його обмазкою бентонітовою глиною. Результати попередніх випробувань наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1– Випробування на зношування в умовах абразивного середовища

№ з/п	Варіант зміцнення	Знос, г	Відносний коефіцієнт зносу, %
1	Вихідний матеріал культиваторної лапи – сталь 65Г	0,0145	1,0
2	Наплавлення обмазкою електродом Т-620 з введенням немагнітної фракції детонаційної шихти	0,0044	0,30
3	Наплавлення електродом Т-620 по шлікерному покриттю з немагнітної фракції детонаційної шихти	0,0092	0,63
4	Наплавлення електродом Т-620	0,0090	0,62
5	Наплавлення електродом Т-620 з додатковим введенням бентонітової глини	0,0066	0,45

З результатів випробувань слідує, що найкращі показники при оцінці зносостійкості показали зразки з додатковим введенням глини і немагнітної фракції детонаційної шихти з алмазними включеннями. Наплавлення по шлікерному покриттю істотних змін не вносить і за коефіцієнтом тертя вона знаходиться на рівні звичайного наплавлення електродом.

При введенні глини або шихти в відновлювальне покриття, зносостійкість підвищується в 1,3-2,0 рази відносно до нанесення його електродом без модифікування і в 2,0-3,0 рази – до звичайного матеріалу культиваторною лапи.

Для подальшого аналізу провели додатково порівняльні випробування на зношування при різних умовах тертя (сухе, сухе з подачею кварцового піску фракцією 0,25-0,40мм; з подачею кварцового піску й води) та оцінили мінливість коефіцієнтів тертя (табл. 4.2 і рис. 4.2 ). При даних випробуваннях також використовували сполучення деталей «диск» з фторопласту Ø50мм. Швидкість ковзання при цьому становила 0,78 м/с.

На рис. 4.2 наведені діаграми випробувань на зношування нанесених покриттів. Деяке зниження коефіцієнта тертя при випробуванні наплавлених покриттів зразків без модифікування (див. рис. 4.2, б №4) пов'язано з процесом схоплювання, що знизило період випробувань.

З отриманих даних випливає, що найбільш низький коефіцієнт тертя характерний для сухого тертя, а також - гідроабразивного в зразках з додатковим модифікуванням глиною і детонаційною шихтою. При подачі абразиву коефіцієнт тертя знижується в зразках з наплавленням покриття електродом і модифікування немагнітною фракцією детонаційної шихти.

Виходячи з отриманих результатів випробувань, для підвищення стійкості культиваторних лап в експлуатації рекомендується при нанесенні відновлювальних покриттів використовувати вторинну сировину для модифікування і природні матеріали, які не тільки підвищують стійкість робочого інструмента машин, а й зменшують схильність їх до пошкоджуваності завдяки мінімальному проплавленню тонкостінного

виробу культиваторної лапи і зниженню перетину перехідного шару та рівня напружень.

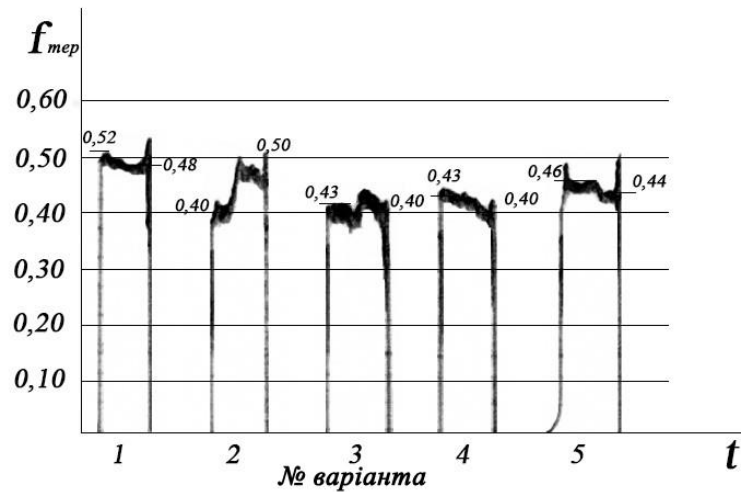
Таблиця 4.2 – Випробування на зношування різних типів покриттів

№ варіанту	Значення $f_{тер}$ за умов випробування		
	P=50Н*	P=50Н**	P=200Н***
1. Вихідний матеріал культиваторної лапи сталь 65Г	0,48-0,52	0,64-0,70	0,38-0,42
2. Наплавлення електродом Т-620 з додатковим введенням немагнітної фракції детонаційної шихти	0,40-0,50	0,68-0,74	0,38-0,42
3. Наплавлення електродом Т-620 по шлікерному покриттю немагнітної фракції детонаційної шихти	0,40-0,43	0,72-0,74	0,34-0,38
4. Наплавлення електродом Т-620	0,40-0,49	0,60-0,64	0,32-0,34
5. Наплавлення електродом Т-620 з додатковим модифікуванням бентонітовою глиною	0,44-0,46	0,72-0,83	0,34-0,36

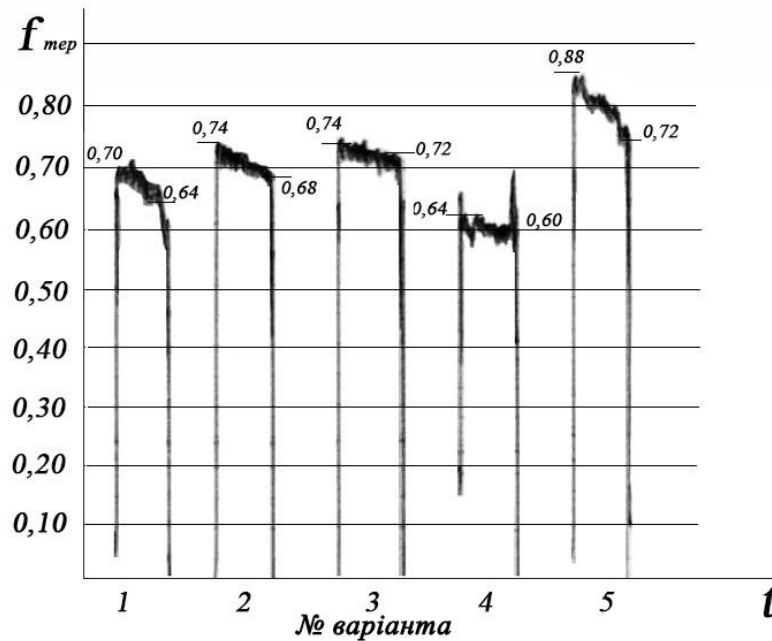
Умови випробувань: \* сухе тертя; \*\* сухе з подачею кварцового піску фракції 0,25-0,40мм; \*\*\* з подачею кварцового піску та води.

Не завжди в умовах ремонтного підприємства сільськогосподарської техніки є можливість застосувати бентонітову глину. На території України безліч місць з видобутку глини. Вивчено можливість використання також глин інших родовищ. Для прикладу вибрали глини Куп'янського та Прилукського родовищ[35, 36]. Кожна глина має свій специфічний склад. Перед використанням необхідно провести хімічний аналіз вмісту компонентів і підготувати її до використання (дробити, сушити) також, як і бентонітову.





а

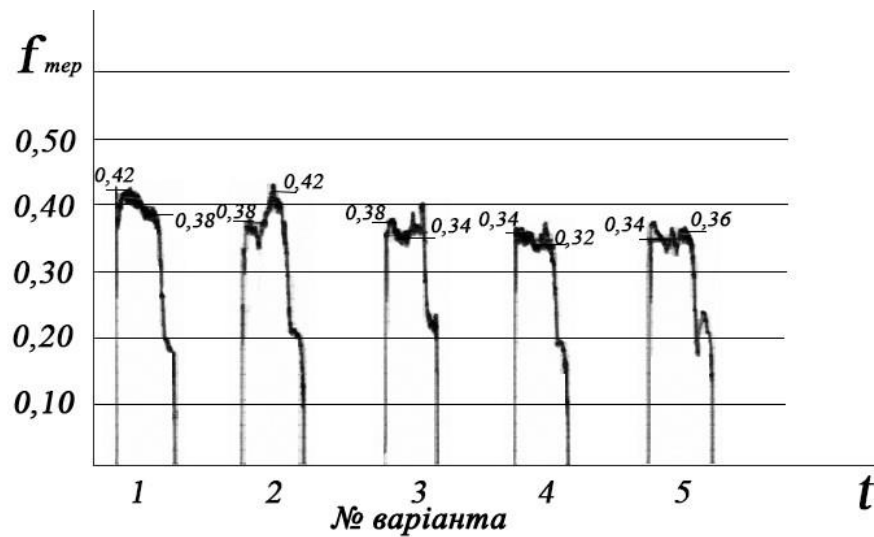


б

1 – вихідний матеріал культиваторною лапи сталь 65Г; 2 – наплавлення електродом Т-620 з додатковим модифікуванням немагнітною фракцією детонаційної шихти;

3 – електродом Т-620 по шликерному покриттю немагнітної фракції детонаційної шихти; 4 – електрод Т-620; 5 – електрод Т-620 з додатковим введенням глини

Рисунок 4.2 – Діаграми випробувань на зношування покриттів в режимі сухого тертя (а), з подачею кварцового піску фракції 0,25-0,40мм (б) та в гідроабразивному середовищі (в)



В

Продовження рис. 4.2

За результатами дослідження хімічного складу видно, що в глині з Куп'янського родовища (табл. 4.3) в ній присутній значний вміст кальцію – 56,455%. Тому глина з даного родовища має високу гігроскопічність і схильність до збирання в грудочки під час подрібнення в кульовому млині. У табл. 4.4 наведено хімічний склад глини Прилукського родовища. Помітно підвищений вміст кремнію – 73,243%. Глина Прилукського родовища мала хорошу сипкість і добре подрібнювалася в кульовому млині. У табл. 4.5 наведено вміст речовин в наплавленому електроді без обмазки.

Одночасно були проведені випробування на зношування для цих видів обмазки електродів і наплавлення їх на Сталь 45 (табл. 4.6). Нанесення покриттів на Сталь 45 виконували для того, щоб оцінити розподіл хімічних компонентів, що містяться в покритті при використанні електрода E432 і різних домішок глини.

Таблиця 4.3– Хімічний склад глини Куп'янського родовища,%

Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Si	P	S	Cl
5,225	1,129	6,551	0,623	56,455	0,341	19,2	8,5	1,0-1,5	7,0

Таблиця 4.4– Хімічний склад глини Прилукського родовища, %

Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Si	S
0,815	0,586	8,822	1,179	1,405	1,917	73,243	2,5

Таблиця 4.5– Хімічний склад наплавленого шва електродом Е46- Моноліт-РЦ-УД (Е432 (3) -РЦ11), %

Mn	Si	З	P	S
0,40-0,65	0,15-0,40	0,11	0,035	0,030

Таблиця 4.6– Випробування на зношування покриттів

Зразок	Значення $f_{\text{тер}}$		Величина зносу, г (сумарна)
	при сухому терті, P = 50Н	з H <sub>2</sub> O, P = 100Н	
Наплавлення електродом Е46 - Моноліт	0,28	0,217	0,0928
Наплавлення електродом з додатковим введенням глини Прилукського родовища	0,25	0,130	0,0678
Наплавлення електродом з додатковим введенням глини Куп'янського родовища	0,256	0,213	0,1242

З табл. 4.6 випливає, що найкращий результат досягається в варіанті з використанням глини Прилукського родовища в якості додаткової модифікуючої домішки. Знос такого зміцнення зменшується на ~ 27%. При введенні глини Куп'янського родовища знос збільшився. Це пов'язано і з хімічним складом самої глини, і його впливом на підвищення стійкості покриттів. При цьому коефіцієнт тертя в умовах сухого в цей час знижується. Крім того, в такій глині велика частка глинозему SiO<sub>2</sub>, який легко

розчиняється у вологому середовищі в ґрунті та забезпечує краще засвоєння цього компонента. Перед використанням глини в якості модифікуючої домішки і для забезпечення підвищення стійкості покриттів необхідно проводити хімічний аналіз введеної домішки. Також на якість покриття впливає і частка введеної домішки та її стан.

#### 4.2 Польові випробування зміцнених культиваторних лап

Аналізуються результати стендових та промислових випробувань зміцнення культиваторних лап бентонітовою глиною [30]. Раніше була зроблена спроба використання природної речовини – шунгіту для модифікування [36, 37]. Але вона знаходиться в одному родовищі та це ускладнює процес модифікування.

За запропонованою схемою наплавлення зміцнюючих смуг на робочу поверхню стрілкової лапи культиватора (рис. 4.1) наносили різну конфігурацію смуг. Наплавлення проводили з урахуванням наступних параметрів:  $I=180-200\text{A}$ ,  $U=68\text{В}$ .

Проведені стендові випробування в умовах виробництва ДП «Завод імені В.О. Малишева» показали підвищення зносостійкості модифікованих покриттів глиною в  $\sim 2,5$  рази.

Апробація технології нанесення покриттів електродом Т-620 і додатковим модифікуванням бентонітовою глиною в польових умовах має позитивні результати. На польовий культиватор Case Tiger Mate II фірми CNH Industrial America LLC було встановлено 15 зміцнених за розробленою технологією культиваторних лап, які пройшли випробування на підприємстві СТОВ «Мрія» Харківської області.

Напрацювання складо 3185 га. Середнє напрацювання в звичайний період складає 1200-1500 га. Культиватор працював на ґрунтах Харківської та Сумської областей (Додаток А).

В результаті дослідно-виробничої перевірки культиваторних лап Tiger

Мате II, зміцнених, згідно запропонованих в дослідній роботі схеми та технології, ресурс становить 3185 га на один робочий орган, величина лінійного зношення за шириною леза становить від 10 до 42 мм, при цьому стандартно виготовлені лапи змінюють цей показник від 39 до 86 мм та мають більш високі за рівнем значення в  $\approx 2,5$  рази відповідно. Присутній променевидний знос поверхні лапи. Поверхня тертя формується у вигляді пилки. З отриманих результатів виходить, що зношена зміцнена культиваторна лапа може працювати й надалі.

## ВИСНОВКИ

1. Для модифікування рідкої ванни при наплавленні досліджували вплив немагнітної фракції детонаційної шихти та природного матеріалу – бентонітової глини. Для цього використовували електроди Т-590, Т-620. Встановлено оптимальну частку введення домішок, яка складає 6-8%. Детонаційна шихта, яку оцінювали локальним спектральним методом, складається з дисперсних та наноалмазів (3,37-3,43% С) й інших компонентів (S, Ca, Mg, K, Na, Fe, O) сумарно до 10%. Хімічним аналізом всієї частки шихти виявлено, що найбільшу концентрацію мають компоненти С, Si (3,14%) та Fe (2,9%). Частка модифікатора глини (6% домішки) при наплавленні становила, %: 0,099-0,132 Fe, 0,015-0,02 K, 0,009-0,012 Ca, 0,0036-0,0048 S, 0,012-0,016 Mg, 3,29-4,39 Si, 1,94-2,59 Al, 0,018-0,024 Na.

2. Додаткове введення шихти з алмазною фракцією при модифікуванні рідкої ванни призводить до формування локальних мікроохолоджувачів. Це сприяє подрібненню структури цементита перліту, забезпечує її однорідність, підвищує фізико-механічні властивості не менше ніж на 23-25%.

Для модифікування рідкої ванни при зміцненні досліджували різні методи – обмазкою електроду та шлікерне покриття.

3. Вперше досліджена можливість використання природної модифікуючої домішки – бентонітової глини. При введенні глини в рідку ванну формується мартенситна структура відпуску матриці. При такому модифікуванні не виявлене формування яких-небудь дефектів. При введенні глини в наплавлення структура на поверхні й у середній частині покриття більш однорідна, матриця мартенситна, та це забезпечує підвищення мікротвердості з HV-50-776 до HV-50-960.

4. Показано, що при відновленні наплавленням тонкостінної культиваторної лапи практично повністю вона проплавляється, а при введенні модифікуючої домішки, зберігається до 50% основного металу, що мінімізує схильність такого виробу до накоплення напружень, пошкоджуваності й сприяє підвищенню експлуатаційної стійкості. Додаткове

модифікування такою глиною при нанесенні покриття практично не змінює вміст вуглецю в карбідах і відповідає  $Me_7C_3$  а також  $Me_xC_y$  у всіх зонах, що зіставляються (верх покриття, середина й перехідна).

5. Вперше досліджена і показана ефективність використання природної речовини – бентонітової глини, яка дає можливість при наплавленні зміцнюючих покриттів підвищити зносостійкість у 2,5 рази, зменшити рівень напружень та контролювати і корегувати процес їх одержання, згідно неруйнівного контролю якості за коерцитивною силою. Виявлена поведінка покриття при експлуатації. Показано, що нанесені смуги деформуються в процесі інтенсивного зношування та формують особливу структуру. Форма культиваторної лапи змінюється мінімально, створюється новий характер та структура поверхні тертя.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Свойства алмазов, металлизированных покрытиями / Т.М. Дуда, Т.Д. Ильницкая и др. *Сверхтвёрдые материалы: Природоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения*. 2015. Выпуск 17. С. 226-231.
2. Некоторые особенности получения и физико-химические свойства алмазных порошков, металлизированных композиционными химическими покрытиями с включениями УДА / Т.М. Дуда, Ю.И. Никитин, В.Г. Полторацкий и др. *Сверхтвёрдые материалы*. 2000. №5. С. 88-94.
3. Спосіб одержання детонаційної шихти з алмазною фракцією: пат. 138685 Україна. МПК (2006) B22D 19/00 B22D 19/08 (2006.01). / Т.С. Скобло, О.В. Нанка, Ю.М. Кусков, О.В. Сайчук, С.П. Романюк, О.В. Марков, Ю.В. Самсонов. №u201904939. заявл. 10.05.2019; опубл. 10.11.2019, Бюл. №23.
4. A new way of getting the charge with diamond fraction / T.S. Skoblo, A.V. Nanka, I.N. Rybalko, et al. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. (Nanosistemi, nanomateriali, nanotehnologii)*. 2021. Том 19, вип. 1. С. 23-33. <https://doi.org/10.15407/nnn.19.01.023>
5. Підвищення властивостей та експлуатаційної стійкості зміцнення та відновлення деталей модифікуванням із нано та дисперсними діамантами / І.М. Рибалко, С.П. Романюк, Л.В. Омельченко, О.В. Марков. *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. (Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii)*. 2023, т. 21, № 2. С. 363–378. <https://doi.org/10.15407/nnn.21.02.363>
6. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Рыбалко И.Н. Напряжения и деградация структуры, формируемые в насосно-компрессорных трубах при эксплуатации. Монография. Харьков: ООО «ПромАрт», 2018. 152с.
7. Nanka A.V., Omelchenko L.V., Markov A.V. Povichenie stoikosti detalei pri vosstanovlenii naplavkoi i modifitsirovaniem. *Agrotekhnika i energoobespechenie: Nauchno-prakticheskii zhurnal*. 2018. № 1 (8). S. 85-93.
8. Влияние модифицирования углеродсодержащими порошковыми присадками на износостойкость при нанесении покрытий. / Т.С. Скобло, А.И.



Сидашенко, А.В. Сайчук, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков, А.К. Олейник. *Промышленность в фокусе: Инф.-аналитич. межд. технич. журнал.* 2016. №10|47|. С. 54-58.

9. Марков А.В. Применение вторичного сырья и модифицирующих присадок для повышения эксплуатационных свойств изделий. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві.* 2015. Вип. 158. С. 162-176.

10. Новая технология модифицирования при восстановлении изделия / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.А. Гончаренко, А.В. Марков, А.С. Михайличенко. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві.* 2015. Вип. 158. С. 3-8.

11. Сайчук А.В. Влияние способа введения модификатора на качество восстановления дефектов в сером чугуна отливок. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві.* 2017. Випуск 183. С. 3-7.

12. Aleksandr Saychuk, Ivan Rybalko Method of defects restoring in parts made from gray cast iron by hardfacing with recyclable materials modifying. *9th international conference of young scientists on welding and related technologies. Proceedings.* 23–26 May 2017 Kyiv. Ukraine – Kyiv, 2017. P. 156-159.

13. Rybalko I., Saychuk A. Modification of metal when welding cracks in body parts made of cast iron. *9th International Conference of young scientists on Welding and Related Technologies, 23-26 may.* Kyiv, 2017. P. 202.

14. Скобло Т.С., Сидашенко А.І., Сайчук О.В. Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники. Х.: Діса плюс, 2019. 282 с.

15. Особливості структуроутворення під час модифікування покривів

для деталей з дисперснозміцнених сталей / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, С.П. Романюк, О.О. Гончаренко, Л.В. Омельченко, В.А. Бантковський. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2019. Том 55. № 6. С. 96-103.

16. Спосіб підвищення властивостей покриттів модифікуванням при наплавленні: пат. 117615 Україна: МПК В22D 19/08 (2006.01) В22D 19/10 (2006.01) / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, С.П. Романюк, Л.В. Омельченко, І.М. Рибалко та інш. № u2017 01633. заявл. 20.02.2017; опубл. 26.06.17., Бюл. № 12.

17. Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels. / T.S. Skoblo, A.I. Sidashenko, S.P. Romaniuk, A.A. Goncharenko, L.V. Omelchenko, V.A. Bantkovskiy. *Materials Science*. 2020. 55. P. 884–891. <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00383-4>

18. Марков А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»*. Харьков, 2013. №8. С. 52-55.

19. Применение модифицирующих присадок для восстановления деталей машин / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. Вип. 47, Ч.І. С. 229-240.

20. Применение шлакообразующих смесей при производстве и реновации изделий / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.Д. Мартыненко, Р.В. Ридный, Н.С. Пасько, А.К.Автухов. Х.: «Полосатая типография», 2016. 284с.

21. Марков А.В., Мальцев Т.В. Использование вторичного сырья для модифицирования при восстановлении деталей наплавкой. *Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» 20-22 травня 2015 р.* Київ, 2015. С. 112.

22. Розробка технології відновлення деталей наплавленням з

використанням введення домішок / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»*. Харьков, 2018. № 2. С. 51-58.

23. Влияние модифицирования углерод- и медьсодержащими добавками вторичного сырья при восстановлении деталей электродуговой наплавкой / Т.С. Скобло, А.И. Сідашенко, В.М. Власовец, А.А. Гончаренко, А.В. Марков. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2014. Випуск 146. С.227-231.

24. Скобло Т.С., Тіхонов О.В., Рибалко І.М. Використання дисперсних домішок вторинної сировини при відновленні деталей машин. *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»*. Харьков, 2019. №12 (84). С. 55-57.

25. Evaluation of the wear of the duckfoot sweep cultivator blades and the technology of their hardening / T.S. Skoblo, I.M. Rybalko, O.V. Nanka, O.V. Saychuk. *Problems of Tribology*. 2021. V. 26, No 2/100. P. 6-18. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-100-2-6-18>

26. Vinograd M.I. *Vklyucheniya v stali i yee svoistva*. M.: Metallurgizdat, 1963. 252 s.

27. Kisling R., Lange N. *Nemetallicheskie vklyucheniya v stali*. M.: Metallurgiya, 1968. 124 s.

28. Спосіб підвищення зносостійкості стрілкової лапи культиватора: пат. 130824 Україна: МПК (2018.01) А01В 23/00, А01В 35/00 / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, О.К. Олейник. № u2018 06896. заявл. 19.06.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл.№ 24.

29. Упрочнение культиваторных лап наплавкой с модифицированием жидкой ванны вторичным сырьём / Т.С. Скобло, А.В. Сайчук, И.Н. Рыбалко, А.К. Олейник. *Abstracts of XXII International Scientific and Practical Conference "Interaction of society and science: prospects and problems", London, England, April 20 – 23, 2021*. P. 580-585.

30. Спосіб підвищення якості та експлуатаційної стійкості відновлюючих покриттів їх модифікуванням маловитратною домішкою: патент 147660 України, МПК С23С 4/131 (2016.01) / Скобло Т.С., Нанка О.В., Рибалко І.М., Сайчук О.В., Тіхонов О.В., Сатановський Є.А., Олейник А.К., Захаров А.В. №u2020 08115. заявл. 18.12.2020; опубл. 02.06.2021, Бюл.№ 22.

31. Нанка О.В., Рибалко І.М., Марков О.В. Модифікування відновлюваних шарів вуглецьвмісними домішками. *Инф.-аналит. межд. техн. журнал «Промышленность в фокусе»*. 2018. № 1 (62). С. 53-58.

32. Guleyav A.P. *Metallovedenie*. М.: Metallurgiya, 1977. 648 s.

33. Improving the wear resistance of hoe blades by modifying of restoration coatings / T.S. Skoblo, I.N. Rybalko, A.V. Tihonov, T.V. Maltsev. *Problems of Tribology*. 2019. 94 (4). P. 27-31. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-94-4-27-32>

34. Rybalko I. Application of repair coatings with a charge with diamond fraction and natural materials. *Abstracts of XVI International Scientific and Practical Conference "Science and society, patterns and trends of development" Vienna, Austria, March 30 – April 02, 2021*. P. 248-250.

35. Скобло Т.С., Тіхонов О.В., Рибалко І.М. Використання дисперсних домішок вторинної сировини при відновленні деталей машин. *Инф.-аналит. межд. техн. журнал: Промышленность в фокусе*. Харьков, 2019. №12 (84). С. 55-57.

36. Застосування модифікуючих домішок природного вуглецьвмісного компонента шунгіту і алмазів різних фракцій при відновленні деталей наплавленням / Т.С. Скобло, О.В. Нанка, О.В. Сайчук, І.М.Рибалко, О.В. Марков. *Инф.-аналит. міжн. техн. журнал: Промисловість в фокусі*. 2021. №4 (100). С. 54-56.

37. Теоретична оцінка особливостей структуроутворення при введенні вуглецевмісних порошкових композицій в покриття. / Т.С. Скобло, О.В. Нанка, О.В. Сайчук, І.М. Рибалко, А.В. Захаров, О.В. Марков. *Инф.-аналит. міжн. техн. журнал: Промисловість в фокусі*. 2021. №5 (101). С. 52-56.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор СТОВ «Мрія»

Ю.А. Кондратенко

2021 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з наукової роботи ХНТУСГ

Т.Г.н., с.н.с.

В.І. Мельник

2021 р.

## Акт

дослідно-виробничої перевірки

зміцнених культиваторних лап електродом Т-620 з додатковим модифікуванням бентонітовою глиною, згідно розробленої нової технології

Ми, що нижче підписалися, професор кафедри ТСРВ д.т.н. Скобло Т.С., старший викладач, к.т.н. Рибалко І.М., доцент, к.т.н. Тіхонов О.В., асистент Захаров А.В. та представники від підприємства СТОВ «Мрія», керівник інженерної служби Труш О.І., провідний інженер Глебов М.М., менеджер із закупівель з/ч та матеріалів Колодяжний С.С. склали цей акт про те, що в умовах СТОВ «Мрія» проведена дослідно-виробнича перевірка нової технології для робочих органів – культиваторних лап, які зміцнені за технологією, розробленою в ХНТУСГ, із використанням наплавлення електродом Т-620 і додатковим модифікуванням бентонітовою глиною. Спосіб захищено патентом України №130824. Представлений документ підтверджує, що в результаті дослідно-виробничої перевірки культиваторних лап Tiger Mate II, зміцнених згідно схеми та технології ХНТУСГ, ресурс становить 3185 га на один робочий орган, величина лінійного зношення за шириною леза становить від 10 до 42 мм, при цьому стандартно виготовлені лапи від 39 до 86 мм та мають більш високі за рівнем значення в ~ 2,5 рази відповідно.

За результатами дослідно-виробничої перевірки культиваторних лап комісія рекомендує технологію такого зміцнення електродом Т-620 і додатковим модифікуванням бентонітовою глиною робочих органів машин, до широкого впровадження в умовах сільськогосподарських підприємств АПК України.

Робота виконувалась згідно дежоговірних та госпдоговірних тематик. Економічний ефект від впровадження тільки 1210 шт. культиваторних лап (10 культиваторів) складе 196927,5 грн.

Від ХНТУСГ



Т.С. Скобло (науковий керівник  
роботи)



І.М. Рибалко (відповідальний  
виконавець)



О.В. Тіхонов (виконавець)



А.В. Захаров (виконавець)

Від СТОВ «Мрія»




О.І. Труш

М.М. Глебов

С.С. Колодяжний