

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ШКЛЯРЧУК ЮРІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН КОМПОЗИЦІЙНИМИ
ПОКРИТТЯМИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____Ю.П. Шклярчук

Керівник роботи

Міненко С.В.

к.т.н., доцент

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Шклярчук Юрій Петрович. Підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин композиційними покриттями. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі розроблено сучасні способи та методи отримання однорідної структури при проведенні індукційного наплавлення високолегованими заєвтектоїдними чавунами при нанесенні на низьколеговані і вуглецеві сталі. Основа методу полягає в розробці можливості керуванням структурою, фазовим складом та триботехнічними характеристиками і властивостями у зміцнених шарах при нанесення високолегованих хромистих чавунів при проведенні наплавлення індукційним методом на поверхню вуглецевих та низьколегованих сталей. В роботі виявлені залежності та встановлені зв'язки між характеристиками зносостійкого шару, які дали можливість зробити наукові узагальнення та запропонувати єдину науково-технічну позицію.

На підставі проведених досліджень в роботі запропоновано способи зміцнення поверхонь тертя робочих органів сільськогосподарських машин, новітні зміцнювальні матеріали та технологічні процеси нанесення покриттів.

Ключові слова: зносостійкість, зміцнення, структура, сталь, чавун.

ANNOTATION

Shklyarchuk Yuri Petrovich. Improving the wear resistance of the working bodies of agricultural machinery with composite coatings. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis modern methods and techniques for obtaining a homogeneous structure in the induction surfacing of high-alloy eutectoid cast irons when applied to low-alloy and carbon steels. The basis of the method is to develop the ability to control the structure, phase composition and tribotechnical characteristics and properties in the reinforced layers when applying high-alloy chromium cast irons by induction surfacing on the surface of carbon and low-alloy steels. The dependencies and connections between the characteristics of the wear-resistant layer are revealed in the work, which made it possible to make scientific generalizations and propose a single scientific and technical position.

On the basis of the conducted researches in the work the ways of strengthening the friction surfaces of the working bodies of agricultural machines, the latest reinforcing materials and technological processes of coating are proposed.

Key words: wear resistance, strengthening, structure, steel, cast iron.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНЕ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ НА КОНСТРУКЦІЙНІ СТАЛІ.....	9
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ ЗМІЦНЮВАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ.....	19
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	32
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. При використанні робочих органів (РО) землерийних і сільськогосподарських машин щорічні втрати металу ввід абразивного зносу становлять сотні тисяч тон.

Для підвищення довговічності та зносостійкості деталей і робочих органів, які взаємодіють з абразивною масою і піддаються інтенсивному абразивному зношуванню, їх поверхні тертя, зміцнюють методом індукційного наплавлення. На даний час перспективним і не повністю вивченим методом є індукційне наплавлення із застосуванням порошкових матеріалів на основі систем Fe-Cr-C-V, Fe-Cr-C, Fe_nV-Fe-V та ін. Дослідженням цього процесу в різний час займалися Ткачов В. М., Тененбаум М. М., Борак К. В. Сидоров А. І., та ін.

Аналіз проведених режимів та умов експлуатації РО, які піддавалися зміцненню індукційним наплавленням показав, що їх швидке зношування спостерігається із-за створення неоднорідних фазних структур по перетину зміцненого шару при нанесенні чавунів та сумішей (типу ПС) на низьколеговані або вуглецеві сталі, саме тому тема досліджень є досить актуальною

Мета та завдання дослідження. Метою досліджень є розробка способів зміцнення конструкцій робочих органів сільськогосподарських машин, пошук нових зварювальних (наплавочних) матеріалів та удосконалення технологічних процесів нанесення зносостійких матеріалів.

Згідно поставленої мети необхідно виконаними наступні завдання:

1. Провести моделювання та дослідження процесів індукційного наплавлення високолегованих хромистих чавунів на конструкційні сталі;
2. Дослідити технологічні умови формування зміцнювального покриття.

Об'єкт дослідження – процес нанесення та формування зносостійкого покриття на поверхнях тертя робочих органів ґрунтообробних машин.

Предмет дослідження – закономірності процесів індукційного наплавлення високолегованих хромистих чавунів на конструкційні сталі та формування зміцнювального покриття.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням методів землеробської механіки, триботехніки, трибофізики та прикладної фізики. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітичним та монографічним методами. Обробку отриманих експериментальних даних проводили за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Шклярчук Ю.П.** Моделювання та дослідження процесів індукційного наплавлення високолегованих хромистих чавунів на конструкційні сталі. Збірник тез *VI-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 30-31 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 288-290.

2. Савченко В.М., **Шклярчук Ю.П.**, Бугайчук В.В, Федорчук А.М., Губерт Н.В. Вплив абразивних властивостей ґрунтів на інтенсивність зношування робочих органів. Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні: Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Бахмут, 25-26 листопада 2021 р.). Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії. Бахмут : ННППІ УПА, 2021. С. 114-116

3. **Шклярчук Ю.П.** Розробка технологій зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин. Збірник тез *VII-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 236-237.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість роботи полягає в розробці технологій зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 41 сторінка комп'ютерного тексту, містить 20 рисунків та 10 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ІНДУКЦІЙНЕ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ ХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ НА КОНСТРУКЦІЙНІ СТАЛІ

В конструкційних сталях вміст бору несуттєвий (0,001...0,02%), що згідно стандарту відповідає поняттю домішки, а не легуючого елемента. Незважаючи на це такі несуттєві добавки бору призводять до значного подрібнення зерен, різкого поліпшенню прожарювання, підвищенню жароміцносних властивостей внаслідок зміцненню границь зерен боридами. Всього 0,002...0,003% бору можуть замінити у сталі до 2% нікелю або до 0,3...0,5% – молібдену. Саме дуже малі «крапельні» домішки бору дають дуже позитивні результати [1-7].

Так при внесенні бору в сталь також збільшується твердість та стійкість до зношування, покращується зварюваність, гаряча пластичність жаростійких аустенітних та спеціальних нержавіючих сталей. Окрім переліченого, добавки бору призводять до підвищення критичної точки A_{c3} , і чим менший вміст вуглецю, то більш суттєвий вплив бору (рис. 1.1) [3].

При цьому на знаходження критичної точки A_{c1} бор не впливає.

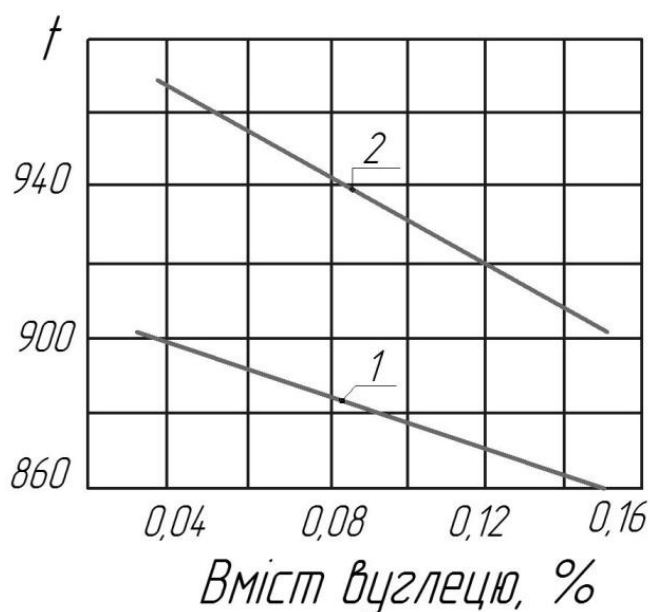


Рис. 1.1. Спільний вплив вуглецю та бору на положення критичної точки A_{c3}

Еквівалентний зміст бору різний для різних марок сталей і в першу чергу залежить від співвідношення і складу елементів (табл. 1.1) [9].

Таблиця 1.1 – Кількість легуючих елементів, еквівалентних 0,001% бору, для отримання рівної прожарюваності.

Основний склад сталі, %		Еквівалентна кількість легуючих елементів, %			
C	Mn	Mn	Ni	Cr	Mo
0,2	0,75	0,86	2,5	0,43	0,36
0,4	0,75	0,66	1,8	0,36	0,26
0,6	0,75	0,46	1,3	0,21	0,16
0,8	0,75	0,16	0,5	0,08	0,06

В різних час публікувалися результати досліджень з наплавлення робочих органів порошковою стрічкою, графітовими пластинчастими електродами, , автоматизованим наплавленням, плазмовим наплавленням електроіскровими методами, з використанням наномодифікаторів, але ці всі техпроцеси не набули широкого поширення, оскільки мають низьку продуктивність і якість наплавленого шару [12].

Здійснили промислову розробку методу індукційного наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин.

Сутність винаходу полягала в тому, що на поверхню, що зміцнюється, наносилася у вигляді порошку наплавна шихта, що складається з гранульованого порошкового матеріалу заданого складу і флюсу на основі бури, борного ангідриду силікокальцію та ін. (рис. 1.2).

Наплавна шихта 2, що складається з порошку високолегованого хромистого чавуну або суміші механічної типу «ПС» (88-85%) і флюсу (12-15%), насипається на зміцнювану ділянку деталі 1 і поміщається в індуктор 3 (між витками індуктора), який підключений до високочастотного генератора (15-66 або 440 кГц). На поверхні деталі створюються вихрові струми і нагрівають

поверхню, що зміцнюється. Це тепло передається до наплавочної шихти 2 і вона розплавляється при температурі 1150-1300°C.

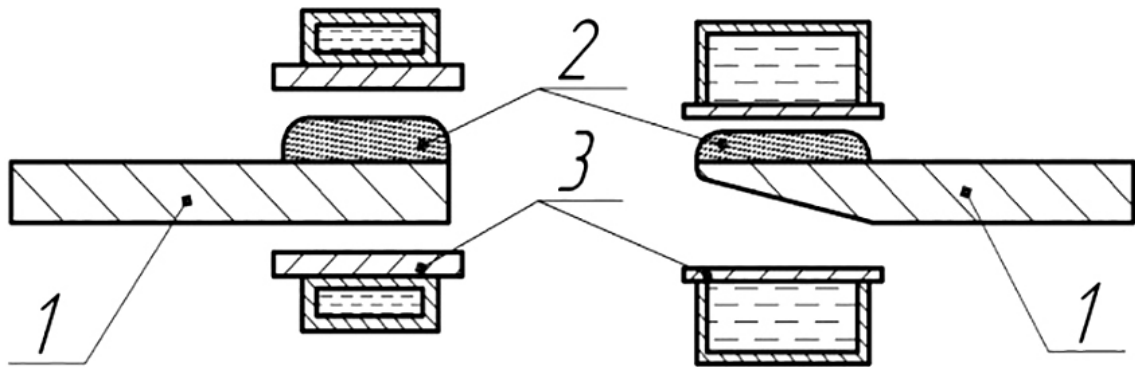


Рис. 1.2 Схема наплавлення деталей, що мають у поперечному перерізі форму пластини клину: 1 – деталь; 2 – шихта; 3 – індуктор.

Умови нагрівання зміцнюючої поверхні залежить від поперечного перерізу. Там, де деталь має форму клина, твердий сплав у шихті досягає температури плавлення за різні проміжки часу, що створює ділянки з рідким переплавленим сплавом. На деталях, що мають форму поперечного перерізу у вигляді паралелепіпеда, перегрів окремих ділянок виражений меншою мірою [2].

Для здійснення процесу індукційного наплавлення, незалежно від поперечного перерізу зміцнюваної деталі, прийнято використовувати три режими: м'який, середній та форсований (табл. 1.2) (при нагріванні деталей на генераторі ВЧГ2-100/0,066).

Таблиця 1.2 – Режимы нагрівання деталей, що зміцнюються.

Найменування режиму	Показники щитових приладів			
	анодний струм, (А)	сітчастий струм, (А)	анодна напруга, (U)	напруга *
М'який	4,7	0,66/0,76	6	0,45
Середній	5,5/4,7	0,85/0,8	7,0/7,5	0,5
Форсований	6,5/5,5	0,95/0,75	9/9,5	0,6

*Показники на індикаторі.

Товщина наплавної шихти в межах 1,0-3,5 мм, нанесена на поверхню, що зміцнюється, і що складається з зміцнюваного матеріалу (85-88%) і флюсу (12-15%), практично не впливає на характер зміни температури. Однак інтенсивність нагрівання залежить від товщини основного металу та його поперечного перерізу [3].

По температурним кривим нагріву та плавлення наплавної шихти процес ділиться на три стадії. На першій стадії, коли всі компоненти шихти мають низьку тепло- та електропровідність, різниця температури між поверхнею зміцнюваного металу і зовнішнім шаром шихти, що межує з повітрям, безперервно зростає і наприкінці стадії досягає максимального значення. Величина градієнта температури залежить від висоти насипаного шару шихти на деталь, вона залежить від величини питомої потужності, що вводиться в неї.

На другій стадії в системі «шихта-метал» відбувається зміна інтенсивності нагріву між поверхнею, що зміцнюється, і наплавною шихтою. У цей проміжок часу на виробі утворюється ванна, в якій розплавлений флюс очищає зміцнювану поверхню і зерна, що мають на ній, високолегованого хромистого чавуну і метал-зв'язку з частинками ферохрому від оксидів. Це збільшує тепло- і електропровідність в шарі, що наплавляється. Внаслідок цього протягом усього періоду цієї стадії відбувається зменшення різниці температур між зміцнюваною поверхнею і шаром шихти.

Наприкінці другої та на початку третьої стадії на зміцнюваній поверхні виробу утворюється окремими ділянками та суцільним шаром (на форсованих режимах) розплав матеріалів, що зміцнюються. Через ефект близькості відбувається перерозподіл струму що індукується в деталі. На межі шару, що контактує зі зміцнюваною поверхнею, виникають вихрові струми, що рухаються за фронтом розплаву, і зростає частка теплоти, що виділяється безпосередньо в розплаві покриття, що зміцнюється [4].

Але стадійний аналіз нагрівання поверхні деталі та наплавної шихти до стадії розплавлення виявив, що найбільш тривалою є друга стадія, вона становить близько 80% часу у процесі зміцнення деталі індукційним методом.

Проведені дослідження зі збільшення швидкості нагрівання показали, що за рахунок підвищення вихідної потужності генератора шляхом переузгодження з навантаженням можна підняти продуктивність процесу на 20-30%. Однак збільшення швидкості нагрівання на другій стадії (наприклад, на жорсткому режимі) зсуває температуру закінчення та процесу в інтервал високих температур (1670-1720 К). Це призводить до утворення небажаних структур у шарі, що наплавляється [5].

При певній інтенсивності нагріву системи «шихта-метал», що оцінюється за оптимальною тривалістю знаходження деталі в індукторі (τ_k) та часу з початку плавлення (τ_e) шихти, вирішальний вплив має ступінь перегріву після завершення процесу наплавлення.

Ступінь перегріву (Ψ) визначається за формулою:

$$\Psi = [(\tau_e - \tau_k) / \tau_k] * 100\%, \quad (1.1)$$

де τ_e – час знаходження деталі в індукторі при включеному нагріванні всієї ділянки, що наплавляється або певної ділянки при безперервно-послідовному способі, с;

τ_k – тривалість нагріву до розплавлення шихти на будь-якій першій ділянці поверхні, що наплавляється, с.

При розплавленні зерен сплаву на одній ділянці (τ_k) без зміни підводиться потужності для того, щоб розплавити шихту на всій поверхні, що наплавляється (τ_e), на першій ділянці досягається температура значно вище температури ліквідуса сплаву. Це призводить до різкого збільшення швидкості розчинення основного металу у розплаві. Встановили, що причиною розвитку при кристалізації менш зносостійкої доевтектичної зони шару, що наплавляється, є розчинення основного металу в рідкій ванні твердого сплаву. Створення різних структурних зон: заевтектичної, евтектичної, доевтектичної – відбувається при

індукційному наплавленні твердого сплаву на лезі робочих органів, що мають як форму пластини, так і клина, або складнішу. При цьому чим складніше поперечний переріз зміцнюваної деталі, тим більше створюються умови для формування небажаних структур у процесі затвердіння наплавленого сплаву. Розмір їх може змінюватись за рахунок один одного [10].

Крім того, на утворення неоднорідної структури в наплавленому зміцненому шарі впливають технологічні умови: відсутність можливості регулювання роботою ВЧ-генератора в процесі нагрівання та плавлення шихти на поверхні виробу, що зміцнюється; відсутність методів реєстрації температури нагрівання поверхні деталі за досягнення нею моменту плавлення порошкових матеріалів; метод визначення температури плавлення порошкових матеріалів; способів наплавлення та конструкції індукторів; зміна напруги в мережі протягом зміни може змінюватись (до 20%); стан прокату, увігнутість, опуклість та шорсткість – до 20%; жолоблення деталі в процесі наплавлення; технологічні фактори [9].

Висновки по розділу

Перелічені фізичні, хімічні та технологічні фактори мають значний вплив на нерівномірне нагрівання та плавлення наплавної шихти та формування неоднорідної структури в наплавленому шарі деталей, що зміцнюються.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ ЗМІЦНЮВАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

Розподіл температури на поверхні, що зміцнюється, при її СВЧ-нагріві залежить від багатьох факторів: профілю поперечного перерізу – товщини, стану поверхні (шорсткість, увігнутість, опуклість), способу переміщення у високочастотному електромагнітному полі, його частоти, короблення та ін.

В результаті швидкість нагріву та плавлення наплавної шихти відбувається нерівномірно, через це утворюються вироби з неповним розплавленням твердого сплаву або ділянки наплавненого шару перегрітого розплаву, те й інше є ознакою бракування. Тому виникає необхідність досліджувати розподіл теплових потоків на поверхні виробу, що зміцнюється, що дозволить застосовувати різні фізико-хімічні та технологічні впливи для отримання максимально однорідної структури в наплавненому шарі.

Було досліджено процес індукційного наплавлення тонких деталей від 4 до 7 мм та товщиною від 7 до 20 мм (з притупленням кромки від 1,5 до 2,0 мм та з кутом заточування 15°). Максимальна температура створюється в центрі ділянки (ΔT_1 , ΔT_2) поверхні, що зміцнюється (рис. 2.1). Однак температури відрізняються з торцевої частини і там, де стикається поверхня, що нагрівається з частиною виробу, що залишилася.

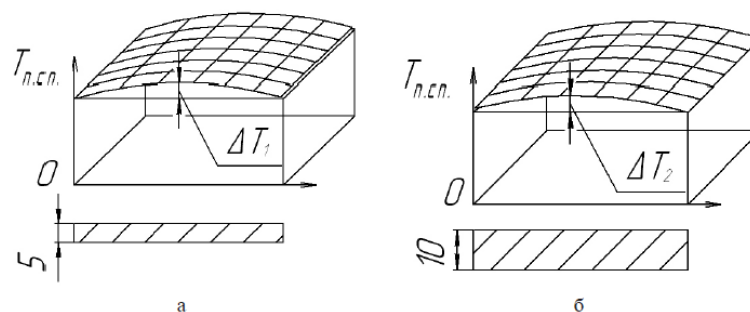


Рис. 2.1. Характер розподілу температури на поверхні, що зміцнюється на деталях, що мають різну товщину: а – тонкі деталі (до 6 мм); б - товста деталь (більше 6 мм)

За результатами вимірювань температури на поверхні, що зміцнюється, виробу, що має змінний переріз, можна передбачити очікуваний перегрів твердого сплаву в центральній частині заготовки. У разі коли зміцнююча поверхня по перерізу має форму клина, температурне поле значно змінюється. Так, у тонкій частині деталі (рис. 2.2) максимальні температури виникають на вістрях клину (ΔT_3) та мають значні градієнти по краю ΔT_4 (рис. 2.2 б).

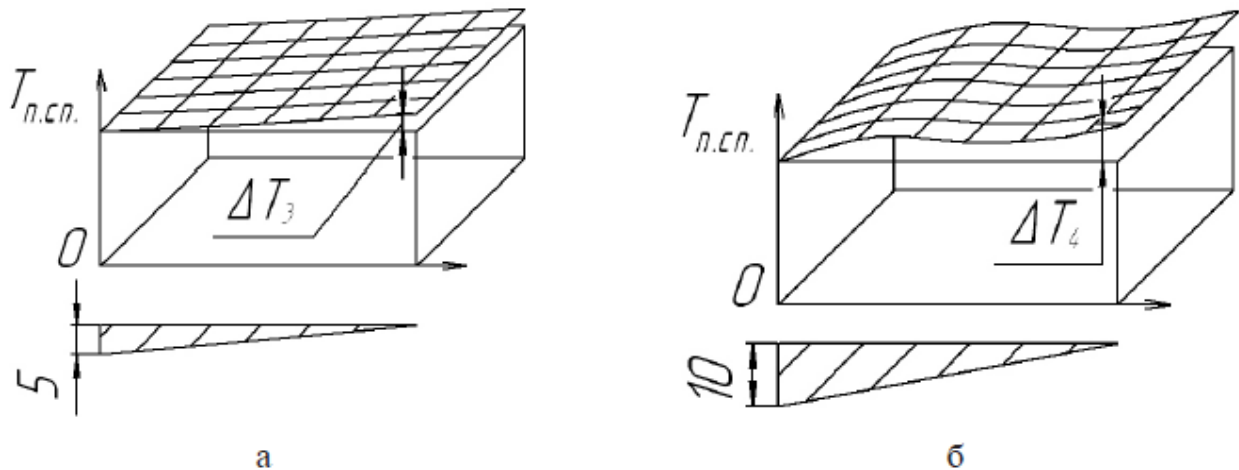


Рис. 2.2. Характер розподілу температури у деталей у формі клина та змінної товщини: а – тонкі; б – товсті.

У процесі нагрівання температура поверхні деталі, що має змінний перетин вздовж і поперек ділянки, що нагрівається, змінюється в товстій, середній і тонкій частинах по-різному (рис. 2.3).

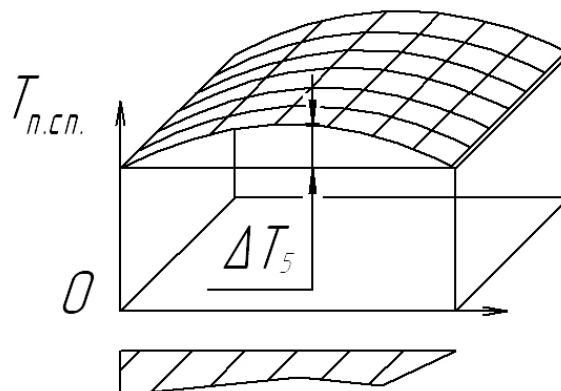


Рис. 2.3. Нагрів поверхні деталі зі змінним перетином вздовж і поперек наплавлюваної ділянки.

У початковий період процесу (до точки Кюрі) нагрівання тонкої частини відбувається швидше. Це обумовлено товстою частиною деталі, в яку

відводиться тепло верхнього шару, що нагрівається. Зміна температури в інших частинах деталі відбувається до тих пір, поки верхній шар не прогріється до температури шару, що торкається наплавної шихти на деталі. В інтервалі високих температур нагрівання тонкої частини відстає через великі втрати на випромінювання. Тому різниця між випромінюваною та одержуваною енергією зменшується. У зв'язку з цим середня частина поверхні деталі нагрівається до вищої температури, ніж тонка. Максимальна температура при нагріванні подібних деталей досягається в середній частині T_5 , а не в тонкій її частині.

Нерівномірність нагріву погіршується значними відхиленнями у товщині періодичного прокату, з якого виготовляються робочі органи сільськогосподарських машин. Тому рівномірність нагріву всіх ділянок деталей в індукторі практично неможлива.

Тепло, що передається від зміцнюваної поверхні наплавної шихти при індукційному наплавленні лез робочих органів сільськогосподарських машин, відбувається нерівномірно.

Внаслідок цього створюються умови для перегріву розплаву твердого сплаву, що зміцнюється, на окремих ділянках.

Подібні температурні процеси призводять до значного збільшення швидкості розчинення основного металу в розплаві зносостійкого сплаву, що є основною причиною розвитку доевтектичної зони після кристалізації покриття, що наплавляється на робочі органи сільськогосподарських машин.

Розмір доевтектичної зони залежить від кількості вуглецю, що вигорів, і основного металу, залученого в процес перемішування.

Для більш повного розуміння причин утворення неоднорідних структур у наплавленому шарі при індукційному наплавленні необхідно розглянути механізм плавлення наплавної шихти, як на пластині, клині та деталі, що має більш складний профіль, незалежно від способу наплавлення: послідовний, одночасний, комбінований та ін. Тому при індукційному зміцненні необхідно, щоб контакт рідкого металу з основним не перевищував 4 с.

У випадку, коли робочий орган у місці зміцнення представляє пластину, процес плавлення наплавної шихти здійснюється по всій поверхні практично рівномірно (з урахуванням якості прокату, розташування деталі в індукторі тощо). При цьому перегрів сягає 5-10%. На рис. 2.4 наведено структури наплавленого хромистого чавуну марки ПГ-274 механічної суміші та ПС-14-60 на сталь 65Г.

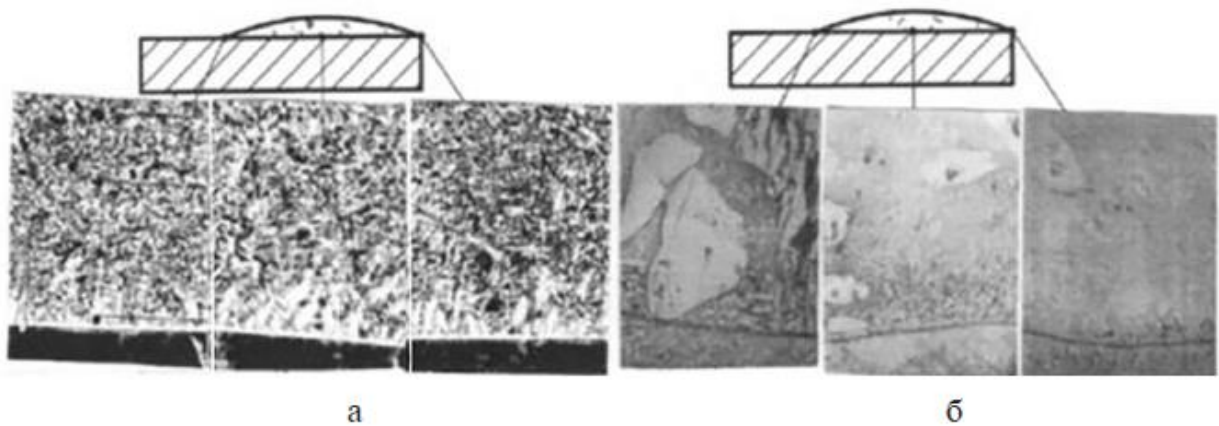


Рис. 2.4. Характерні структури у різних точках наплавленого шару сталі 65Г: а – сплав марки ПГ-С27; б – сплав марки ПС-14-60 (x150)

Рівномірність розплавлення порошкових матеріалів на поверхні пластини вказує на те, що величина дендритної зони однакова вздовж усього поперечного перерізу, і тільки з боку основного металу зростання їх менше через тепловідведення.

При наплавленні на сталь 50ХГА сплаву ПГ-С27 величина доевтектичної зони менша на 15-20% (рис. 2.5). Це пов'язано з тим, що температура плавлення сталі порівняно з сталлю 65Г менше на 8-12%.

При розплавленні наплавної шихти на лезі робочого органу, що має форму клина, спостерігається вищий рівень перегріву навіть на відносно невеликій ділянці зміцнення, що проявляється після затвердіння і кристалізації твердого сплаву (рис. 2.5).

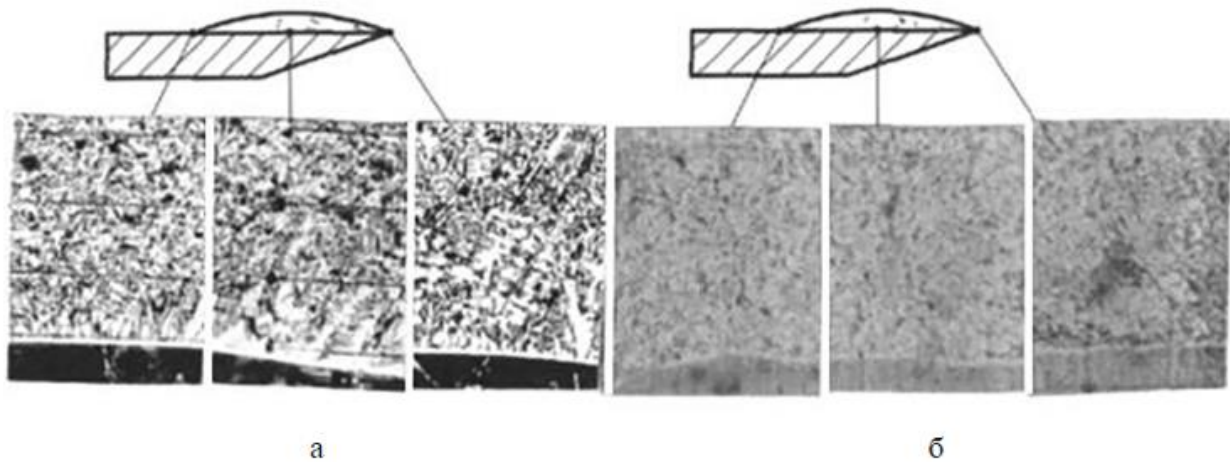


Рис. 2.5. Схема та структура наплавленого сплаву (ПГ-С27) на сталь 65Г (а) та сталь 50ХГА (б) (x150).

Отримані результати показують, що максимальне зростання доєвтектичної зони спостерігається посередині ділянки, розплавляється, дещо менше у бік кромки леза і з боку основного металу (рис. 2.5).

В результаті нерівномірного нагрівання та плавлення наплавної шихти створюються умови для значного перегріву розплаву на окремих ділянках, де вона досягає 15-20%.

Слід зазначити, що розмір доєвтектичних зон, що утворюються в наплавленому шарі, менший за наплавлення на сталь 50ХГА, порівняно зі сталлю 65Г (рис. 2.6).

Таким чином, процес плавлення та подальше контактування розплавленого сплаву з основним металом залежать від стану поверхні, що зміцнюється; чим вона складніша, тим більша ймовірність створення умови для зростання доєвтектичної зони в процесі затвердіння.

Вплив режиму нагрівання на тверді метали вивчені досить повно.

Проведені дослідження процесу індукційного наплавлення сплавами ПГ-С27, ПГ-УС25, ПС-14-60 на Ст3, 65Г, 50ХГА та ін. показали, що незалежно від проведених технологічних заходів структурної однорідності у зносостійкому покритті досягти не вдалося.

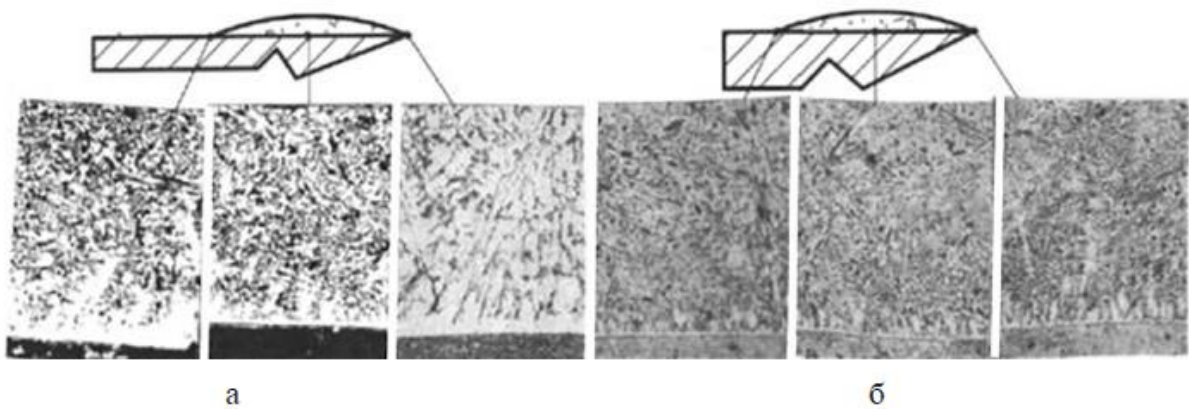


Рис. 2.6. Схема та структура наплавленого сплаву марки ПГ-С27 на сталь 65Г та сталь 50ХГА (x150) з різним профілем зміцнюваної деталі за товщиною, 8 мм (а), 10 мм (б).

У роботах радянських учених Б.Ф. Баландіна, А.М. Бочвара, К.П. Буніна, Н.Б. Гіршовича, і навіть зарубіжних – Б. Чалмерс, Р.Ц. Радл, А. Воно та ін. Наводяться різні теорії та математичні моделі затвердіння та кристалізації металів та сплавів. Запропоновано концепції процесу затвердіння та кристалізації металів та сплавів у зливках та виливках.

Затвердіння і кристалізація твердого сплаву, що наплавляється, дещо відрізняються від процесів, які протікають у зливках, виливках, зварних і паяних швах. Основна відмінність полягає в тому, що до повного затвердіння шару, що наплавляється, хімічний склад його змінюється як за рахунок дифузійних процесів, так і магнітного перемішування.

При індукційному наплавленні в результаті контакту розплаву з основним металом відбувається насичення останнього різними хімічними елементами. В результаті такої взаємодії твердої та рідкої фази в наплавленому шарі після затвердіння утворюється значна неоднорідність як за хімічним складом, так і структурою. Процес кристалізації у хромистих чавунів (ПГ-УС25, ПГ-С27) та суміші механічної марки (ПС-14-60 та ПС-14-80) відрізняються один від одного. Це полягає в тому, що в останньому випадку залишаються в розплаві частинки ферохрому, що не розплавилася, які впливають на процес формування зносостійкого покриття.

При сплавленні на границі рідких сплавів – основний метал формується аустенітний прошарок товщиною 0,02-0,04 мм, який присутній після затвердіння рідкого сплаву по лінії сплавлення сплав - метал, називається граничною смугою і найчастіше за структурою представляє аустеніт і мартенсит.

По лінії розділу поверхні також формуються дендрити (рис. 2.7).

Дендритне зростання на поверхні основного металу виникає внаслідок того, що хімічні елементи, потрапляючи в розплавлений сплав, створюють умови концентраційного переохолодження, і на певних площинах кристаліту відбувається осадження матеріалу, що відрізняється від дендриту металу, що зміцнюється, і від рідкого розплаву. Кожна частина кристаліту, що виступає далі за інші, швидко росте в переохолодженій рідині. Це призводить до утворення дендритів. Вони, звісно, мають відповідні кристалографічні орієнтації. Дендритне зростання слідує у напрямку протилежному відводу тепла.



Рис. 2.7. Аустенітна смуга біля основи сформованого дендриту (x300)

Глибина проплавлення, час контакту двох фаз рідкої – твердої, дифузія вуглецю та інших хімічних елементів з рідкої ванни в основний метал – створюють умови для максимального розвитку доєвтектичної зони по всій товщині сплаву, що наплавляється (рис. 2.9).

Дендритна структура (доєвтектична) по відношенню до інших структур, що утворюються в наплавленому шарі, має знижену зносостійкість.



Рис. 2.8. Дендритна структура в наплавленому сплаві по всій товщині покриття (ПГ-С27 + сталь 65Г) (x250).

Кожен дендрит є монокристалом і утворюється зі свого центру, тому кількість та розміри дендритів визначаються кількістю зародків, що визначаються станом рідкого металу та величиною переохолодження. Остання, за інших рівних умов, обумовлюється швидкістю охолодження: чим більша швидкість кристалізації, тим розгалуженішими виходять дендрити. Кількість та довжина дендритів зростають із зменшенням вмісту вуглецю. Кристалізація починається з утворення низки плоских дендритів на поверхні, що зміцнюється. Потім розвиваються гілки дендритів. Одночасно у рідині при досягненні певного переохолодження зароджуються кристали цементиту. За будовою пластини евтектичного цементиту не відрізняються від пластин первинного.

При великих переохолодженнях, що спостерігаються в структурі наплавленого зносостійкого шару при індукційному наплавленні, відбувається спільне зростання кристалів аустеніту та цементиту, що супроводжується їхньою спільною кристалізацією та взаємним проростанням, утворюючи евтектику, що називається ледебуритом.

За хімічним складом сплави марки ПГ-УС25 та ПГ-С27 відносяться до білих заевтектичних чавунів, суміші механічні ПС-14-60, ПС-14-80 після розплавлення також за хімічним складом представляють заевтектичний чавун. У процесі індукційного наплавлення у структурі сплавів типу «ПС» утворюється доевтектична зона, але менш виражена, ніж при напавленні хромистих чавунів (рис. 2.10).



Рис. 2.9. Зона сплавлення у напавленому сплаві ПС-14-60 на Ст3 (x150).

На зародження доевтектичної структури (у суміші механічного типу «ПС») значний вплив надають частинки ферохрому тим, що в процесі плавлення вони транспортують до сплавлення лінії вуглець. Тому на ділянці дії дифузійних процесів вуглецю утворення доевтектичної зони пригнічується повністю або частково (рис. 2.10). Частинки ферохрому виконують функцію інокулюючих добавок. Доевтектична структура напавленого шару переходить в евтектичну і потім за евтектичну структуру хромистого чавуну. Формування неоднорідної структури по перерізу зносостійкого сплаву, що наплавляється, обумовлюється його розведенням основним металом і частково вигорянням вуглецю.

Таким чином, при здійсненні технологічного методу індукційного зміцнення поверхні деталі в ньому по перерізу шару утворюються характерні структурні зони, що є особливістю даного процесу.

Тому необхідно провести дослідження з управління структурою і фазовим складом шару, що наплавляється, індукційною наплавкою при впливі на нього різними методами (рис. 2.10).

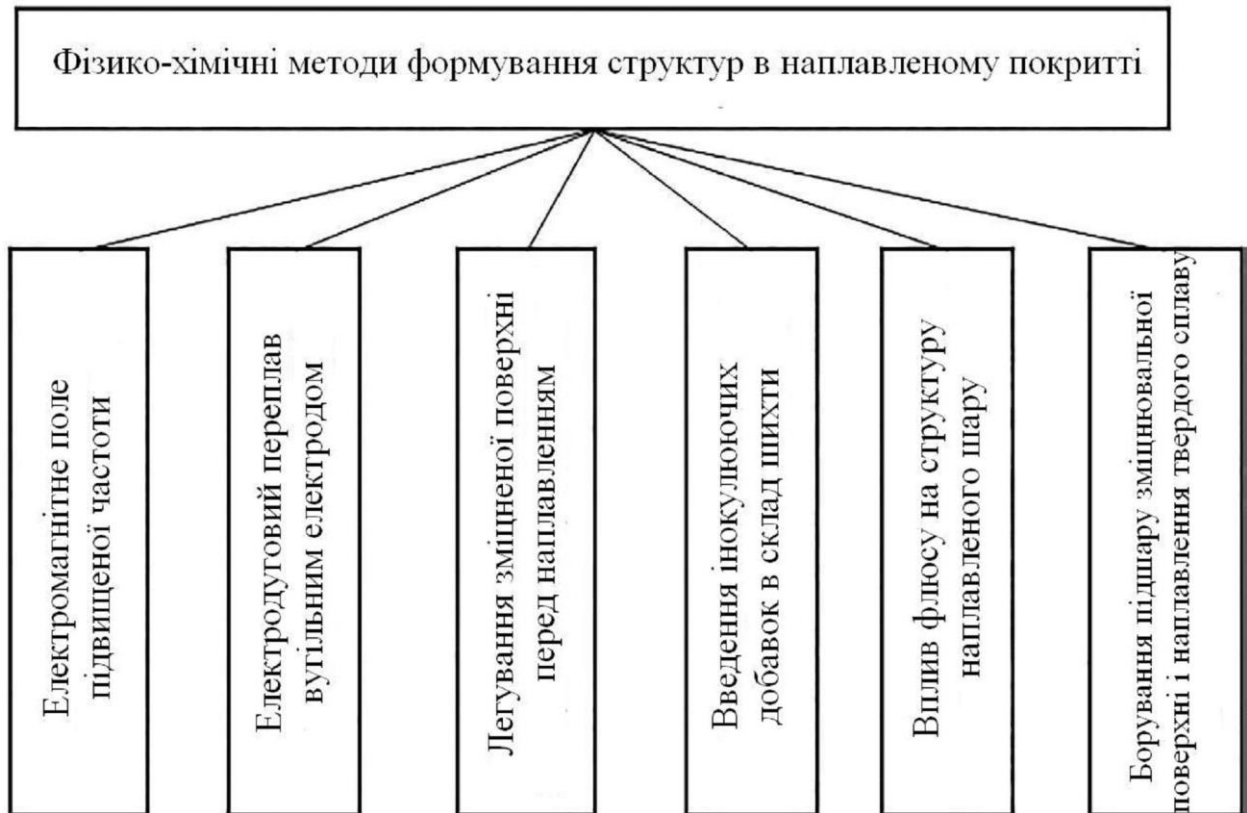


Рис. 2.10. Методи фізико-хімічного та технологічного впливу на формування зносостійкого шару в процесі індукційного наплавлення.

Проведені дослідження дозволяють вибрати оптимальні склади, технології та конструкції, що забезпечують підвищену зносостійкість робочих органів для обробки ґрунту та продуктів рослинництва.

Останніми роками швидкість обробки ґрунту зростає з 7 до 12 км/год, інколи ж – до 17 км/год. У зв'язку з цим значно зростають навантаження на робочі органи, що працюють в умовах інтенсивного, абразивного та ударно-абразивного зношування. Тому виникла виробнича необхідність вибору сталей та розробки нових з підвищеною зносостійкістю та забезпеченням умов мінімального впливу на утворення структурної неоднорідності у наплавленому шарі при індукційному наплавленні.

Для пошуку відомих марок і новостворених була розроблена методика, що полягає в тому, що сталь 65Г (еталон) зварювали в стик з іншою сталлю (наприклад, Ст3) знизу так, щоб зверху утворилася кромка довжиною 50-70 мм з кутом розкриття 35-55°. У обробку кромки, що утворилася, насипали наплавочну шихту і здійснювали індукційну наплавку. Після охолодження заготовки вирізали темплети та готували шліф для металографічних досліджень (рис. 2.11), де з боку сталі 65Г подібної кайомки не виявляється.

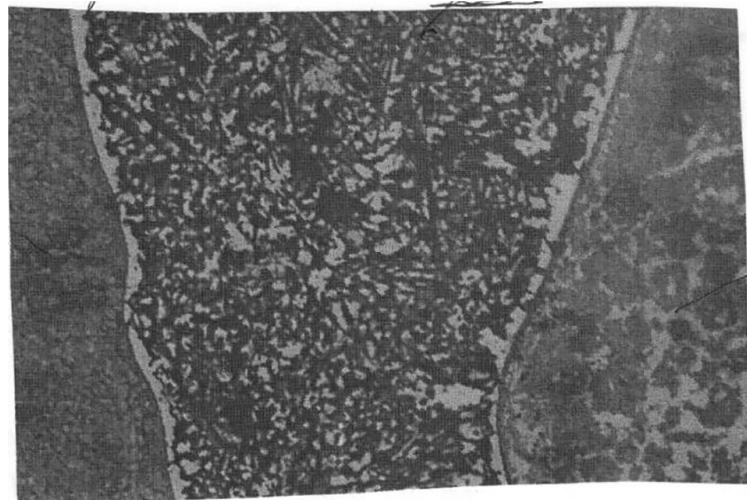


Рис. 2.11. З'єднання двох сталей 65Г (1) + Ст3 (2) через наплавлений сплав ПГ-УС27 (3) (x150).

Можна стверджувати, що за цим параметром сталь 65Г має кращі властивості при індукційному зміцненні.

На рис. 2.12 показана структура при з'єднанні сталі 65Г зі сталлю 50ХГА у вигляді твердого сплаву ПГ-С27.

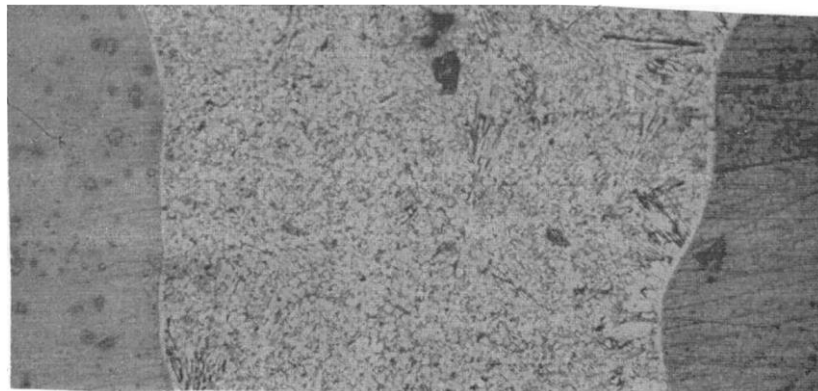


Рис. 2.12. Мікроструктура сполуки сталі 65Г (1) зі сталлю 50ХГА (2) та сплавом ПГ-С27 (3) (x300).

З боку сталі 65Г у структурі наплавленого твердого сплаву спостерігається характерна доєвтектична структура, сталі 50ХГА подібної структури немає.

В умовах польових випробувань незалежно від ґрунтових умов зношування зварних стрілочастих лап з боку носової частини відбувається одночасно (рис. 2.13 а, б).

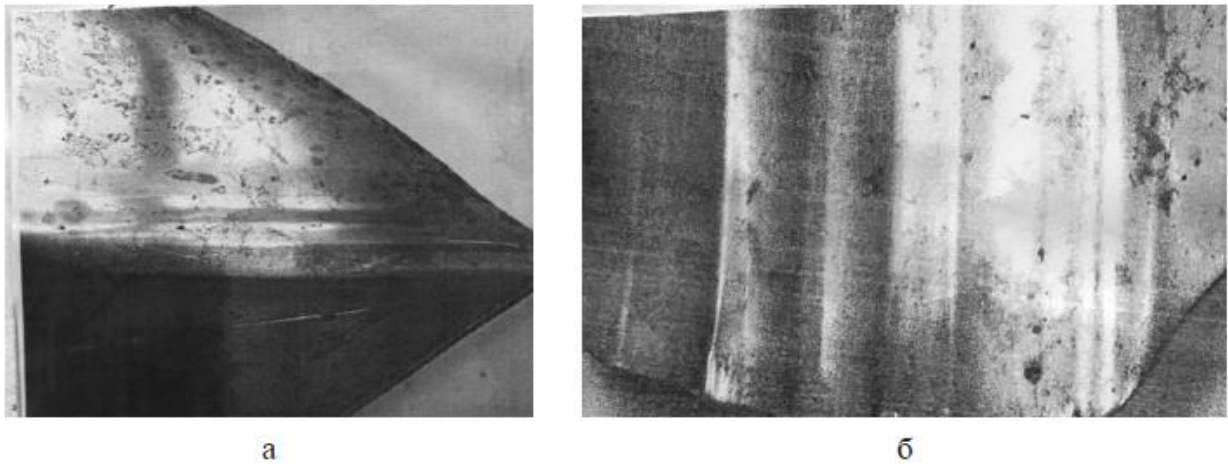


Рис. 2.13. Характерне зношування носової частини зварних стрілочастих лап, виконаних зі сталі 50ХГА: а – у верхній частині в обробку кромки наплавлений сплав марки ПГ-С27; б – з двох сторін приварений зварювальним дротом Св08Г2С.

В даному випадку оцінюється зносостійкість матеріалів, що використовуються для з'єднання сталей при виготовленні робочих органів, та їх можливість у період усієї експлуатації зберігати геометричну форму для забезпечення виконання агротехнічних заходів.

В даному випадку інтенсивніше зношування відбувається з боку сталі 65Г (термообробка нагріву - 1110 К і низький відпуск - 420-520 К).

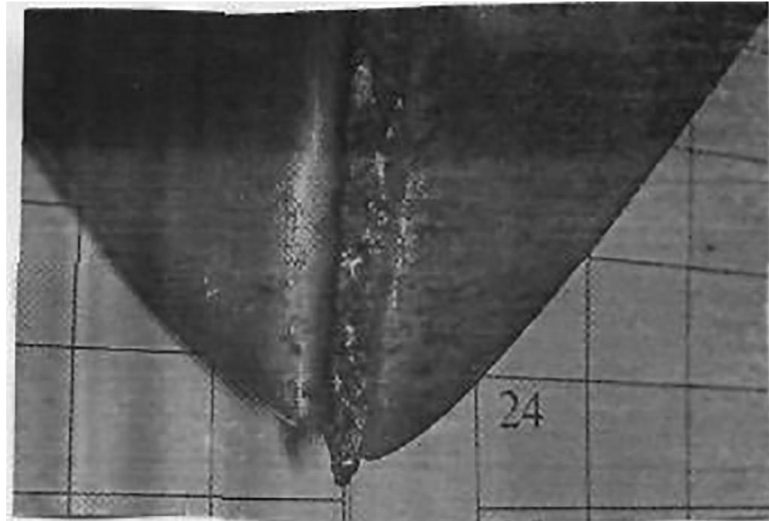


Рис. 2.14. Характерне зношування двох матеріалів (65Г (1) та 50ХГА (2)) при з'єднанні їх з одного боку зварювальним швом, а з іншого – наплавленням (механічна суміш марки ПС-14-60)

Висновки по розділу

Таким чином, запропонована методика дозволяє здійснювати вибір конструкційних сталей, які є найбільш технологічними для здійснення індукційного зміцнення.

При необхідності можна оцінити знову пропоновані сталі, їх зносостійкість, а також підібрати метод і матеріал для зміцнення зношеної частини робочого органу сільськогосподарської машини.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Для підвищення якості та ефективності обробітку ґрунту на стрілочасті лапи культиватора та стерньової сівалки наносили дискретно ділянки твердого сплаву у вигляді смуг та розміщували їх під різними кутами до напрямку руху.

На рис. 3.1 продемонстровано запропоновану схему нанесення зміцнювального покриття на стрілочасту лапу.

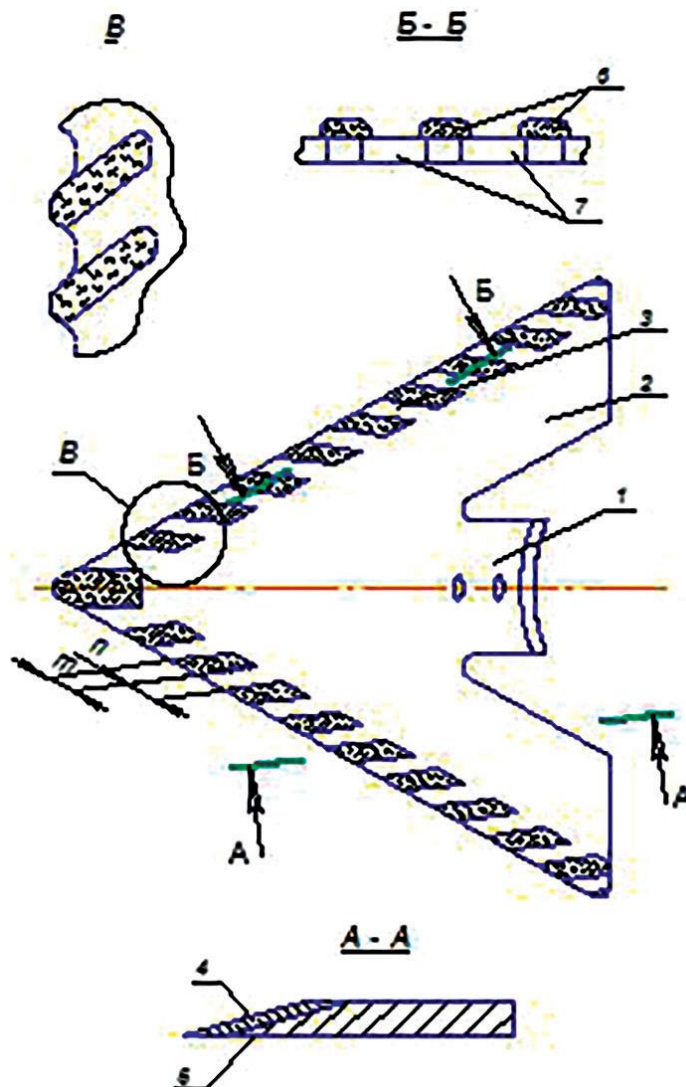


Рис. 3.1. Схема нанесення зміцнювального матеріалу з подальшим високоенергетичним нагріванням.

Зміцнені РО були встановлені на агрегати та піддавалися експлуатаційним випробовуванням в умовах Житомирської області, результати представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Зношування стрілчастої лапи в залежності від кількості обробленої землі.

Варіанти		Напрацювання на 1 РО, га	Лінійний знос РО, мм	Ширина фаски, мм	Кут фаски, °.
Стандартна конструкція	1	9,5	3,9	2,40	53
	2		3,6	2,20	52
	3		3,3	2,34	51
	4		3,0	2,39	48
	5		3,5	2,1	51
	6		3,1	1,8	49
	7		3,2	2,6	54
	8		3,5	2,8	53
	9		3,4	3,9	55
Запроп. конструкція	10	9,5	2,4	1,7	36
	11		2,6	1,65	35
	12		2,7	1,8	37
	13		2,5	2,4	38
	14		2,2	1,6	36
	15		2,5	1,8	38
	16		2,3	1,5	35
	17		2,4	1,7	37
	18		2,6	1,8	39
Лапи, піддані відпалу	19	9,5	13,2	15,8	40
	20		13,6	2,9	41
	21		13,4	6,1	39
	22		13,8	6,2	41

Для дослідження взяли експериментальні лапи (сталь 65Г) з нижньою наплавленням леза зміцнювальним сплавом (табл. 3.2).

Результати експлуатаційних вимірювань наведено у табл.3.3.

Результати дослідження зміни товщини леза, лінійного та вагового зносу дослідних лап, отримані у процесі випробувань у ґрунті (таблиця. 3.4), наведено у таблицях 3.5. та 3.6.

Таблиця 3.2 – Маса та твердість РО.

№ п/п	№ РО	Середня твердість в HRC		Маса РО до посіву, г
		основа	зміцнений шар	
1	0	22...24	51...54	1051
2	00	23...28	52...54	1073
3	1	24...26	51...54	1081
4	11	20...24	51...58	1073
5	3	26...28	52...54	1077
6	33	26...29	51...56	1101
7	5	25...29	53...56	1083
8	55	41...44	51...55	1085
9	8	21...23	51...54	1095
10	88	20...23	51...55	1065

Таблиця 3.3 – Маса та твердість РО.

№ п/п	№ РО	Середнє значення твердості в HRC		Маса лап до посіву, г
		основа	зміцнений шар	
1	7	23...26	66...70	1062
2	9	26...29	68...71	1071
3	13	22...28	68...70	1070
4	15	21...26	68...71	1100
5	17	25...30	67...71	1072
6	21	24...29	69...71	1082
7	34	26...28	67...71	1084
8	35	27...30	69...72	1082
9	19	28...30	69...71	1091
10	2	26...30	67...69	1064

Таблиця 3.4 – Агрегатний склад ґрунту в оброблювальному шарі

Склад фракції, мм	> 0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	У < 0,01
Кількість фракції, % на абсолютно суху навіски	1,0	75,5	9,6	2,1	5,0	7,4	14,3

Таблиця 3.5 – Значення масового та лінійного зносу РО.

Знаходження РО	№ РО	Напрацювання, га	Лінійний знос крила РО, мм	Лінійний знос носка РО мм	Знос по масі, г
По сліду колеса трактора	3	32,62	9,7	43,0	291
	33	32,62	6,4	40,2	272
	11	32,12	6,5	60,2	343
	8	24,07	12,8	53,3	369
Сер. по ділянці	-	-	8,8	49,1	321,5
Поза слідом трактора	0	29,60	6,3	17,4	160
	1	13,61	-	-	-
	00	29,62	7,4	-	320
	5	5,12	-	-	-
	55	29,72	6,3	33,8	190
	88	23,56	4,7	50,1	281
Сер. по ділянці	-	-	6,2	33,9	241,5

З даних таблиці 3.5 видно, що геометричні параметри інтенсивності зношування носка РО в середньому в 5,4 рази більше за лінійний знос крила РО. Дане явище пояснюється тим, що носок РО в процесі роботи стикається з цілісним ґрунтом, а крило – з підпушеним шаром ґрунту. Рух носка в недеформованому ґрунті характеризується швидким зношуванням зміцненої зони, а далі інтенсивним зношуванням неукріпленої основи робочого органу.

В результаті такого характеру зношування вже після напрацювання на одну лапу 15...20 га її форма набуває вигляду трапеції (рисунок 3.2).

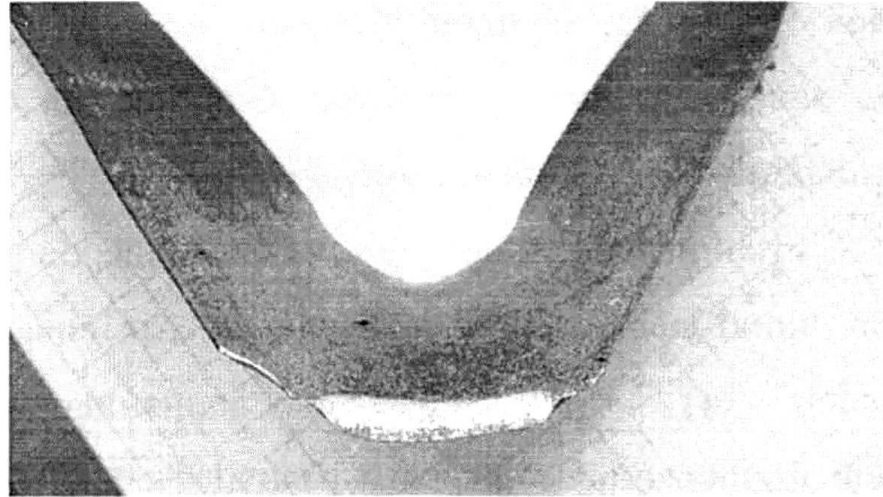


Рис. 3.2. Загальний вигляд стрілкової лапи зміцненої сплавом ПГ-С27 після напрацювання 15...20 га.

При додаванні бору в матеріал зміцнення характер процесу зношування набуває суттєво іншого вигляду.

Середні значення геометричних параметрів зношування стрілкових лап, представлені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Середні значення показників зносу РО у динаміці.

Ділянка	Питоме напрацювання, га	Лінійний знос крила РО, мм	Лінійний знос носка РО, мм	Радіус самозагострювання кромки, мм	Довжина самозагострювання кромки	Ширина зворотної фаски, мм
По сліду трактора	3,12	1,4	1,8	0,34	0,45	1,78
	8,41	2,5	6,9	0,38	0,96	1,27
	12,70	2,9	15,5	0,31	1,33	1,12
	16,62	3,6	21,5	0,41	1,50	0,93
	32,70	7,9	46,9	0,43	1,08	1,56
Поза слідом трактора	5,41	0,7	1,3	0,34	0,14	2,13
	9,60	1,2	1,7	0,29	0,40	1,60
	13,60	1,9	4,9	0,33	0,60	1,37
	29,61	6,0	24,6	0,29	1,14	1,38

Числові характеристики, розглянуті у табл. 3.7 та 3.8, графічно відображені на рисунку 3.3.

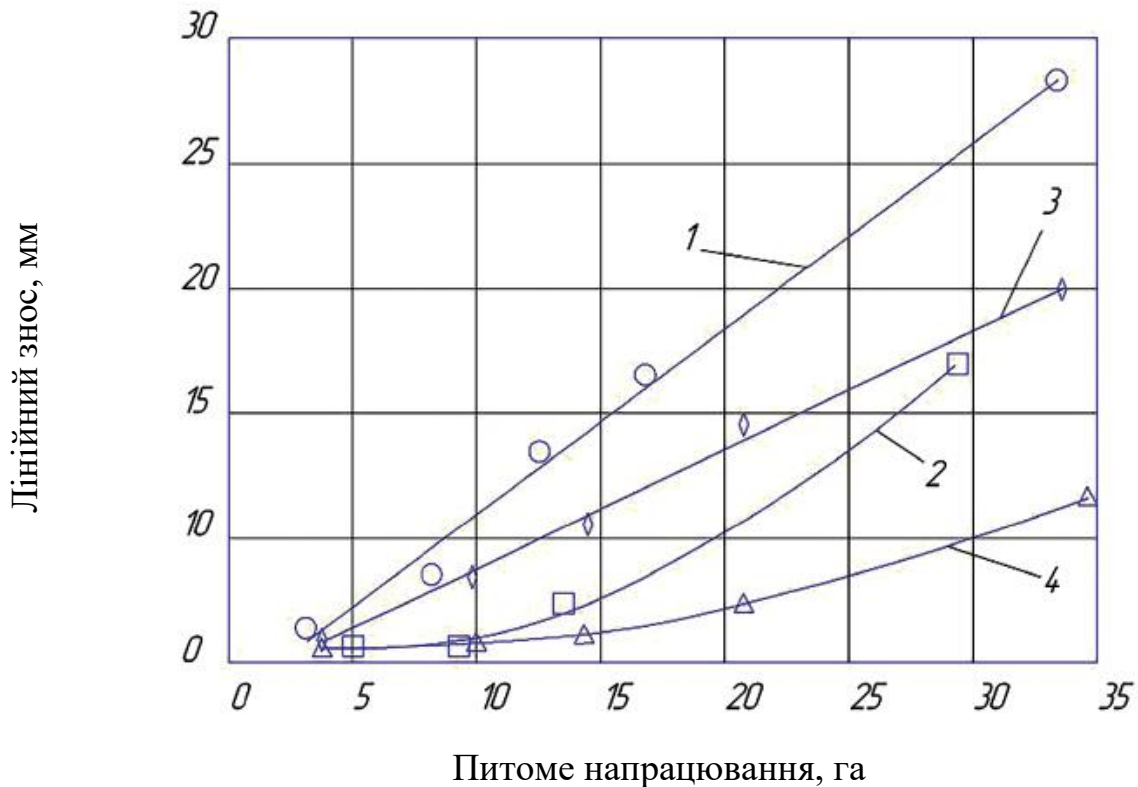


Рис. 3.3. Лінійний знос носка стрілкової лапи в залежності від напрацювання – (крива 2 та 4 – боридне покриття)

Рівняння регресії такі:

$$U_{\text{сл}} = -3,2304 + 1,3654N_{\text{уд}} + 0,0053N_{\text{уд}}^2; \quad (3.1)$$

$$-U_{\text{вне}} = 1,2117 - 0,2286N_{\text{уд}} + 0,0344N_{\text{уд}}^2; \quad (3.2)$$

$$U_{\text{слб}} = -1,8435 + 0,9189N_{\text{уд}} + 0,0009N_{\text{уд}}^2; \quad (3.3)$$

$$-U_{\text{внеб}} = 1,6005 - 0,1828N_{\text{уд}} + 0,0157N_{\text{уд}}^2. \quad (3.4)$$

Серед безлічі використовуваних в даний час технологій мінімальної обробки ґрунту поширення набули процеси, засновані на зниженні глибини обробки, зменшенні інтенсивності впливу на ґрунт та мінімізації кількості проходів ґрунтообробних агрегатів по полях. Це досягається за рахунок поєднання кількох технологічних операцій в одній машині - ґрунтообробному комплексі, особливо в посушливих і схильних до вітрової ерозії районах країни. Для здійснення основних агротехнічних заходів з ресурсозберігаючих технологій створено безліч машин, основним робочим органом яких є стрілчаста лапа. При цьому зношування стрілчастих лап, що працюють у складі культиваторів, розпушувачів, сівалок і ґрунтообробному посівному комплексі як основних

грунтообробних знарядь, є головним параметром, що знижує не тільки економічні показники, але і якість агрозаходів, що проводяться.

Тому зміцнені борідним покриттям, з використанням СВЧ-нагріву, стрілчасті лапи досліджувалися в польових умовах щодо впливу агротехнічних факторів на параметри зносу робочого органу сільськогосподарських машин. Для цього поверхнево зміцненню піддавалися типові стрілчасті лапи, аналогічні робочим органам сівалки-культиватора СЗС-2,1 виробництва, виконані з листа стали 65Г товщиною 6 мм, що піддавалися об'ємному загартуванню.

Поверхнево-зміцнені лапи встановлювалися на культиваторну секцію грунтообробного комплексу «Кузбас» ПК-9,7 як у перший, так і в другий ряди сошників, за винятком позицій по колії трактора. Після цього комплексом проводився прямий посів ярої пшениці по стерневому фоні без осінньої обробки. Характеристика ґрунту: тип – важка середньосуглиниста піщана, твердість – 1,6-1,8 МПа, щільність – 1090-1620 кг/м³, вологість – 19-21%. Середня швидкість машинно-тракторного агрегату становить 5-7 км/год.

Ваговий знос визначався зважуванням очищених стрілчастих лап на лабораторних вагах CASMWP-3000, лінійний – вимірюванням розмірів стрілчастих лап штангенциркулем ШЦ-III-1000-0,05, а їх абрисів – курвіметром КМ.

Як основні технологічні фактори, що впливають на зношування поверхнево-зміцнених лап, були досліджені: спосіб нанесення обмазки на поверхню лапи, попередня підготовка поверхні, час витримки в індукторі при оптимальній температурі, подальша термообробка. Параметрами, контрольованими при зносі, були: ширина захвату лапи (B), ширина крила лапи (b), довжина крила лапи (l), площа перекриття лапи (S), середній ваговий знос (m), а також якісні параметри зносу поверхні лап та їх окремих ділянок.

Площу перекриття стрілчастої лапи розраховували:

$$S = \sqrt{p(p - B)(p - l_1)(p - l_2)}, \quad (3.5)$$

де $p = 1/2(B + l_1 + l_2)$ – напівсума сторін проекції стрілкової лапи;

B – ширина захвату, м;

l_1, l_2 – довжини лівого та правого крил стрілкової лапи, м.

Відносне зношування за вибраним параметром (I_x), %:

$$I_x = \left(1 - \frac{X_{zn}}{X_0}\right) \times 100. \quad (3.6)$$

де X_{zn} – значення контрольованого параметра у зношеній лапі;

X_0 – вихідне значення параметра стрілкової лапи.

Зношені поверхнево-зміцнені робочі органи порівнювали з контрольними зразками, якими виступали об'ємно загартовані стрілкові лапи з твердістю поверхні 40- 44 HRC₃, і комерційні стрілкові лапи, послідовно піддані об'ємному загартуванню, поверхневому СВЧ-загартуванню та електроіскровому поверхневому легуванню спеченим сплавом ВК8 з твердістю поверхні до 71 HRC₃. Варіанти нанесення боруючої обмазки на ріжучу кромку виробу наведені в таблиці 3.7.

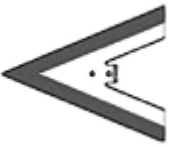
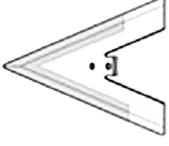
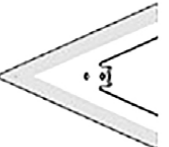
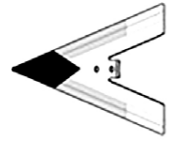
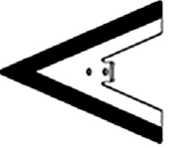
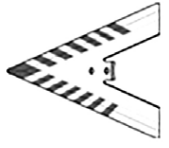
Усього було досліджено шість варіантів нанесення боруючої обмазки (I-VI – перша позиція шифру) з попередньою зачисткою поверхні стрілкової лапи та без (II, БП – третя позиція) при витримці в індукторі 1 та 2 хв. (1, 2 – друга позиція) з наступним об'ємним загартуванням стрілкової лапи або без неї (3, О – остання позиція шифру). Зважаючи на трудомісткість механічної зачистки поверхні під борідне покриття були розроблені спосіб і склад термітного очищення.

Варіанти зміцнення включають усі перераховані технологічні фактори, наприклад, 1-2 – II, означає, що стрілкова лапа була покрита боруючою сумішшю за варіантом I, витримана в індукторі 2 хв., поверхня перед боруванням була підготовлена (зачищена) – II, а після борування деталь остигала на повітрі – О. Дані щодо зносу різних поверхнево-зміцнених стрілкових лап щодо контролю наведено у таблиці 3.8.

У польовому експерименті посівним комплексом було оброблено 400 га, що становить 12,5 га напрацювання на кожну стрілкову лапу культиваторної

секції. Це свідчить про важкі умови роботи посівного комплексу у посушливий весняний період на ґрунтах дослідженого типу та при підвищеному зносі комерційних стрілчастих лап.

Таблиця 3.7 – Варіанти нанесення боруючої обмазки на стрілчасту лапу.

Варіант	Схема нанесення обмазки	Опис	Варіант	Схема нанесення обмазки	Опис
I		нанесення на лицьову сторону	IV		нанесення на 2/3 зворотньої сторони
II		нанесення на зворотній бік	V		нанесення на 2/3 зворотньої сторони і носок
III		нанесення на обидві сторони	VI		нанесення смужок на 2/3 лицьової сторони

Зовнішній вигляд серійних стрілчастих лап (рис. 3.4) свідчить, що традиційна технологія поверхневого зміцнення ґрунтообробного органу не дала бажаного результату. У той же час як стрілчаста лапа, поверхнево-зміцнена при нанесенні боруючої суміші на 2/3 зі зворотного боку ріжучої кромки на носок лапи і витримана в індукторі 2 хв., а потім піддана загартуванню, практично зберегла вихідну геометрію і її знос став незначним.

Таблиця 3.8 – Відносний знос поверхнево-зміцнених стрілочастих лап.

Шифр	Знос по параметру l_x , %					Схема установки на ПК
	B	b	l	S	m	
I-2-БП, О	12,2	17,3	20,7	32,9	29,7	перший ряд
II-1-П,О	12,8	28,8	21,5	34,5	35,6	другий ряд
III-1-БП,О	13,4	17,9	20,9	35,8	29,7	перший ряд
III-2-П, О	18,9	23,5	29,6	42,3	34,4	другий ряд
V-2-БП, З	10,0	9,0	13,7	24,6	20,3	перший ряд
V-2- БП, З	9,8	15,9	13,2	26,3	26,4	другий ряд
IV-1-БП, О	26,8	32,7	30,0	50,2	45,2	перший ряд
IV-2-П, О	27,9	51,4	33,3	52,9	56,0	другий ряд
I-1-БП, О	9,1	12,3	13,6	33,6	21,3	перший ряд
I-1-БП, З	12,3	14,2	18,9	32,3	23,7	другий ряд
VI-2-П, З	24,8	37,3	31,3	51,6	36,8	перший ряд
Контроль	20,1	42,5	32,5	51,5	42,6	другий ряд

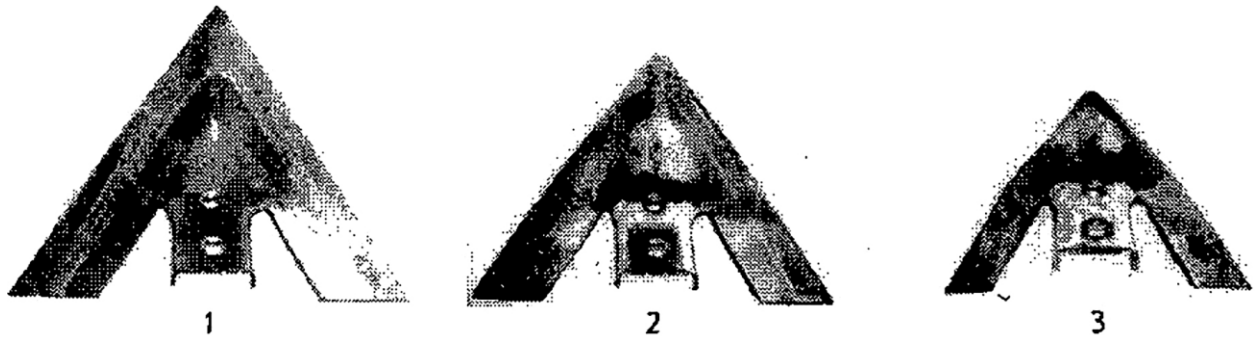


Рис. 3.4. Фотографії зношених стрілочастих лап: 1 – вихідна лапа; 2 – зміцнена за схемою IV-1-БП після випробувань; 3 – комерційна лапа, яка піддавалася об'ємному загартуванню, поверхневому СВЧ-гартуванню та електроіскровому зміцненню, HRC 52 після випробувань

З даних таблиці 3.8 випливає, що вплив ґрунту на зношування окремих параметрів зміцненого робочого органу в реальних умовах неоднозначно. Так, незалежно від варіанта нанесення обмазки на поверхню стрілочастих лап у всіх відбувається зношування від 8 до 27% за окремими розмірними параметрами. У той же час як контрольні стрілочасті лапи в аналогічних умовах (як піддані об'ємному загартуванню, так і тріступінчастому зміцненню) зношуються від 25 до 40%. У стрілочастих лап, зміцнених нанесенням обмазки за варіантами I, II, IV,

V, спостерігаються повне спрацьовування фрезерованої кромки, утворення зворотної фаски (приблизно однакової ширини 4-6 мм для всіх варіантів нанесення обмазки), самозагострення кромки леза. У стрілчастих лап з III варіантом нанесення обмазки спостерігається менша зміна форми носіння, ніж інші варіанти. Однак при цьому зникає ефект самозагострення, і спостерігається затуплення леза з радіусом кромки 1,3-1,5 мм, що збігається з літературними даними для ґрунтів даного типу.

Найкращу зносостійкість продемонстрували стрілчасті лапи, зміцнені нанесенням обмазки за варіантом V і особливо VI (таблиця 3.8). У першому випадку знос за окремими розмірними параметрами не перевищив 13-16%, у другому становив менше 10%. У цих лап у процесі зношування практично не змінюється геометрія носка, спостерігаються високе самозагострення і мінімальний знос крил за шириною і довжиною, збереження ресурсу при їх постановці як у першій, так і в другий ряд культиваторної секції ПК.

У стрілчастих лап зміцнених за IV варіантом нанесення обмазки, незважаючи на витримку в індукторі 2 хв., зачистку поверхні перед боруванням і наступне загартування спостерігається значне зношування (більше 50%) за окремими розмірними параметрами близьке за величиною до контрольних зразків. Це свідчить про визначальний вплив на зношування зміцнюючого покриття при цьому способі.

Дані таблиці 3.8 свідчать про те, що між зносом однаково поверхнево-зміцнених робочих органів за окремими розмірними параметрами існує певний взаємозв'язок, і незважаючи на великі значення деяких параметрів (IВ, Iб, II), стрілчасті лапи все ж таки зберегли свою працездатність до кінця експерименту. Це свідчить про сильніший зв'язок працездатності зношеної стрілчастої лапи не з її окремими геометричними параметрами, а зі здатністю до збереження загальної стрілоподібної форми, стійкістю носка та ріжучої кромки виробу по всій довжині крила, сумарним зносом усієї площі стрілчастої лапи. Тому для характеристики зносу та порівняння працездатності робочих органів у реальних

умовах краще використовувати не окремі показники зносу за певними параметрами, а інтегральні показники – знос за площею перекриття лапи (l_s) та середній ваговий знос (l_m). Крім того, необхідно контролювати і зміну її стрілоподібної форми.

Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити характер впливу технологічних параметрів процесу нанесення зміцнювальних покриттів на знос зміцнених РО у реальних умовах експлуатації, таких як спосіб нанесення борувальної обмазки на поверхню леза робочого органу, попередньо підготовленої поверхні, час витримки при температурі 1200-1300°C і термообробка.

Зношування стрілчастих лап за окремими складовими становить 9...26%, що призводить до збільшення їх ресурсу, порівняно з серійними РО в 2...3 рази.

Висновки по розділу

За результатами проведених досліджень було запропоновано оригінальну конструкційну форму зміцнювальних покриттів на лезі стрілчастих лап.

ВИСНОВОК

Проведені у роботі дослідження дозволили зробити теоретичні узагальнення та вирішити важливі народного господарства країни науково-технічні проблеми. В магістерській роботі розроблено сучасні способи та методи отримання однорідної структури при проведенні індукційного наплавлення високолегованими заєвтектоїдними чавунами при нанесенні на низьколеговані і вуглецеві сталі. Основа методу полягає в розробці можливості керуванням структурою, фазовим складом та триботехнічними характеристиками і властивостями у зміцнених шарах при нанесення високолегованих хромистих чавунів при проведенні наплавлення індукційним методом на поверхню вуглецевих та низьколегованих сталей. В роботі виявлені залежності та встановлені зв'язки між характеристиками зносостійкого шару, які дали можливість зробити наукові узагальнення та запропонувати єдину науково-технічну позицію.

Теоретичний аналіз взаємодії «фаза – структура – властивість» зміцнюваних матеріалів створило умови для розробки моделі утворення однорідної структури у наплавленому шарі у високолегованих хромистих заєвтектичних чавунах у процесі індукційного наплавлення на вуглецеві та низьколеговані сталі.

На підставі проведених досліджень в роботі запропоновано способи зміцнення поверхонь тертя робочих органів сільськогосподарських машин, новітні зміцнювальні матеріали та технологічні процеси нанесення покриттів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белоус А.В. Технология упрочнения поверхностей деталей машин методом электроэрозионной цементации. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2008. №4.
2. Бернштейн Д.Б. Абразивне зношування лемішного леза і працездатність плуга. *Трактори та сільгоспмашини*. 2002. № 6.
3. Бирюков В.П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением. *Фотоника*. 2009. № 3.
4. Бирюков В.П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой. *Лазерные технологии в сельском хозяйстве*. Москва : Техносфера. 2008.
5. Бобрицкий В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В.М. Бобрицкий. Київ : НАУ 2007.
6. Бойко А. І. Сучасні проблеми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка : Підвищення надійності деталей відновлюємих машин*. Випуск 15. 2003.
7. Будко С.И. Методы повышения эффективности упрочнения деталей лемешно–отвальных плугов дуговой наплавкой твердыми сплавами : Авторефер. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. СПб. Пушкино, 2009.
8. Буханова И.Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения. *Лазерные технологии в сельском хозяйстве: Тематический сборник*. 2008.

9. Василенко М. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4063>.

10. Василенко М.О. Відновлення лемешів плугів із застосуванням електроерозійного способу для їх загострення та зміцнення. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2001. Вип. 85.

11. Василенко М.О. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів. Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку АПК». – Львів, 2006.

12. Карабінюш С., Костюк Є., Новицький А., Окаянюк В. Відновлення працездатності робочих органів ґрунтообробної техніки. *Agroexpert: практичний посібник аграрія*. 2011. № 10.

13. Денисенко М.І. Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин. *Науковий вісник НУБІП України*. 2011, Вип. 166. (1).

14. Денисенко М.Л. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з використанням точкового зміцнення. *Науковий вісник НУБІП України : Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2011, випуск 24, ч. II.

15. Зазимко О. Методи оцінки надійності деталей сільськогосподарських машин. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. Дослідницьке, 2004. Вип. 7 (21).