

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КЛИМЧУК ДМИТРО АНДРІЙОВИЧ

УДК 631.3

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ЧИЗЕЛЬНИХ ЗНАРЯДЬ**

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

_____ Д.А. Климчук

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Климчук Дмитро Андрійович. Підвищення надійності робочих органів чизельних знарядь. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі доведено доцільність виготовлення робочих органів литтям із сірого або високоміцного чавуну. Чавун найповніше задовольняє основним вимогам масового виробництва: високі експлуатаційні властивості, технологічність та економічність.

Для формування оптимальної глибини та структури зносостійкого відбіленого шару виливок слід використовувати низькомарганцеві та низькокремністі високоміцний чавун з низьким вмістом марганцю та кремнію, а також низьким значенням кремнієвого еквівалента евтектики. Робоча зона носової частини робочого органу, що активно піддається абразивному зносу повинна мати твердість не менше 400-450НВ. Перехідна зона повинна мати твердість у межах 220-260 НВ, в зоні кріплення робочого органу твердість деталі не повинна перевищувати 140 НВ. Значення твердості функціональних зон забезпечуються відповідним структуруванням: у робочій зоні бейніт або відпущений мартенсит, у перехідній зоні феритна або феритно-перлітна структура, в зоні кріплення перлітна структура.

Результати польових випробувань показали, що найбільшим і близьким за величиною ресурсом, що кратно перевищує ресурс зразків, виконаних зі сталі 65Г, мають зразки, виконані з сірого та високоміцного чавуну з відбіленою робочою поверхнею. Для зразків з чавуну ВЧ50 з оплавленням ЛТО ріжучої кромки збільшення ресурсу склало 4,02 рази, а для зразків чавуну СЧ20 з наступним загартуванням СВЧ з оплавленням –3,6 рази.

Ключові слова: знос, чавун, відбілення, зносостійкість, сталь, долото

ANNOTATION

Klymchuk Dmitry Andreevich. Improving the reliability of the working bodies of chisel tools. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis the expediency of making working bodies by casting from gray or high-strength cast iron is proved. Cast iron fully meets the basic requirements of mass production: high performance, manufacturability and economy.

To form the optimal depth and structure of the wear-resistant bleached layer of castings, low-manganese and low-silicon high-strength cast iron with low manganese and silicon content, as well as low value of silicon equivalent eutectic should be used. The working area of the nose of the working part, which is actively subjected to abrasive wear, must have a hardness of at least 400-450 HB. The transition zone should have a hardness in the range of 220-260 HB, in the mounting area of the working body the hardness of the part should not exceed 140 HB. The values of the hardness of the functional zones are provided by appropriate structuring: in the working zone bainite or released martensite, in the transition zone ferrite or ferrite-pearlite structure, in the fastening zone pearlite structure.

The results of field tests showed that the largest and closest in size, many times greater than the life of samples made of 65Г steel, have samples made of gray and high-strength cast iron with a bleached work surface. For samples of cast iron BЧ50 with melting LTO cutting edge increase in resource was 4.02 times, and for samples of cast iron CЧ20 with subsequent hardening of microwave with melting -3.6 times,

Key words: wear, cast iron, bleaching, wear resistance, steel, chisel

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У концепції сучасного землекористування для підтримки високої родючості ґрунту, поліпшення вологонагромадження, водопроникності та аерації верхніх і нижніх її шарів необхідно періодичне руйнування орної підшви шляхом глибокої безвідвальної оранки, для цього використовують чизельні знаряддя, що забезпечують глибину рихлення до 0,6 м.

Твердість і опір ґрунту руху розпушувача зі збільшенням глибини розпушування прогресивно зростають, що багаторазово підвищує вимоги до абразивної зносостійкості, міцності та ударостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

В зв'язку з цим дослідження, які направлені на підвищення експлуатаційних показників найбільш навантаженої деталі чизельного знаряддя - робочих органів, дуже актуальні і необхідні розвитку високоефективних агротехнічних технологій.

У вітчизняному та зарубіжному сільгоспмашинобудуванні для виготовлення долота використовують переважно сортовий прокат вуглецевої або малолегованої сталі [8]. Зносостійкість ріжучих елементів робочих органів, як правило, забезпечують об'ємним або локальним загартуванням (при достатньому вмісті вуглецю у сталі) або наплавленням різними зносостійкими матеріалами.

У той же час у різних галузях машинобудування деталі, що працюють в умовах інтенсивного зносу і зазнають ударних навантажень (лемеша плугів, прокатні, борошномельні та інші валки, ободи вагонних коліс, носици коромисел клапанів та ін.), виготовляють литтям з сірого або високоміцного чавуна з відбілюванням робочої поверхні. Високу зносостійкість виливок з чавуну можна також досягти термічною обробкою.

Виготовлення долот плуга литтям з високоміцного чавуну поряд з отриманням високих експлуатаційних якостей має ще й суттєві технологічні та

економічні переваги. Вартість чавунного лиття значно нижча від сталевого прокату та наплавлювальних зносостійких матеріалів, а виключення із технологічного ланцюжка зварювання, особливо проблемного при використанні легованих та високовуглецевих сталей, спрощує процес виготовлення доліт.

Мета та завдання дослідження За результатами проведеного аналізу можна сформулювати завдання досліджень, які необхідно провести для досягнення поставленої в роботі мети – підвищення довговічності робочих органів чизельних знарядь.

1. Провести аналіз конструкційних матеріалів, застосовуваних при виготовленні робочих органів чизельних знарядь;

2. Вивчити вплив термодинамічних (хімічного складу) та термодинамічних (умов охолодження при затвердінні) факторів кристалізації на формування структури робочої зони долота, на підставі чого обґрунтувати режими термічної обробки робочих органів чизельної зброї, виконаних з високоміцного чавуну, що забезпечують підвищення їх ресурсу;

3. Провести порівняльні польові випробування робочих органів чизельної зброї, виконаних із різних матеріалів, до граничного стану.

Об'єкт дослідження – робочі органи чизельних знарядь.

Предмет дослідження – показники надійності робочих органів чизельних знарядь.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження проводилися в реальних умовах з урахуванням загальноприйнятих і приватних методик, розроблених автором. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В. Л., Климчук Д. А., Жека Б. В., Фещук І. П. Основні способи нанесення зносостійких покриттів. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників

«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки», 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 196-200.

2. Куликівський В. Л., Климчук А. А., **Климчук Д. А.**, Жека Б. В., Фещук І. П. Зносостійкість поверхневого шару сталі 65Г після електрофізичних методів обробки. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 79-81.

3. Савченко В. М., Куликівський В. Л., Климчук А. А., **Климчук Д. А.**, Жека Б. В., Фещук І. П. Аналіз довговічності робочих органів плугів та методів визначення тиску ґрунту на поверхню тертя. 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. 177-179.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонована технологія підвищення зносостійкості робочих органів чизельних знарядь.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, містить 4 таблиці і 17 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Дослідження зносостійкості широкого кола матеріалів, які можуть бути використані при виготовленні робочих органів ґрунтообробних агрегатів, було виконано Новіковим В.С. при випробуваннях в умовах абразивного зносу, в якості еталона була взята сталь 45 у стані нормалізації [11].

Результати порівняльних випробувань основних зносостійких матеріалів для долот плуга наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Твердість та зносостійкість матеріалів, що застосовуються для виготовлення робочих органів чизельного плуга

№ пп	Вид матеріалу	Марка матеріалу	Вміст основних компонентів, %	Твердість поверхні, HRC	Відн. зносостійкість
1	Еталон	Сталь 45	C-0,45	(185 HB)	1
2	Леговані сталі	65Г (СВЧ)	C-0,65; Mn-1,0	52	1,9
3		X12 (з+н.о)	C-2,12;Cr-11,8	60	4,6
4		ШХ15(з+н.о)	C-1,02;Cr-1,43	50	3,1
5		X12МФ	C-1,52;Cr-12;MnV<1	56	3,3
6		30ХГСА (з+н.о)	C-0,3;Si-1,0; Cr-1,0; Mn-1,0	55	2,5
7		Hardox 400	C-0,14; Si-0,7; Mn-1,5; Cr,Mo,Ni по 0,25; B-0,004	53	12,5*
8		Зносостійке наплавлення	ЦН-12М, дуг	C-0,13;Cr-16,3; Si-4,1; Mn-4,0; Ni-7,9; Mo-5,7; Nb-0,8	47
9	ОЗН-6, дуг		C-1,0; Cr-4,4; Si-3,7; Mn-2,6; B-0,9	48	2,4
10	Т-590, дуг		C-3,2; Cr-25; Si-2,2; Mn-1,2; B-1,0	57	4,1
11	ОЗИ-6, дуг		C-1,1; Cr-4,3; Si-1,5; Mn-0,6; Mo-7,5; W-2,2; V-1,3; Ti-0,2; Al-0,25	58	6,3
	ФБХ-6-2, плазм.		C-4,5; Cr-35; Si-2,1; Mn-2,5; B-1,5	57	4,9
12	ПГУСЧ30, індукц.		C-3,9; Cr-48; Si-3,3; Mn-1,5; Ni-3,0; Mo-0,2	54	3,6
13					

Продовження таблиці 1.1.

14	Кераміка	НТК-2	Al ₂ O ₃ -98%; 1спек=1520°C	16ГПа	1,37
15		ТК-Г	Al ₂ O ₃ -99,3%, MgO; 1спек=1700°C	19ГПа	3,91
16		ВК8	WC-92%, Co-8%; 1спек=1900°C	17ГПа	150,6
17		НітридSi спеч.	Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃ -5^7%; 1спек=1900°C	17	10,8
18		Карбід Si самосвяз.	SiO; 1спек=2000°C	25	13,9
19	Зносостійкий хромований чавун	ИЧХ	C-3,23; Si-0,79; Mn-1,98; Cr- 9,85; V-6,12; Al-0,14	64	9,5
20		ИЧХ	C-3,58; Si-0,84; Mn-2,20; Cr- 9,50; V-6,02; Al-0,16	68	13,6
21		ИЧХ	C-3,49; Si-0,83; Mn-2,06; Cr- 9,55; V-6,52; Al-0,10	66	11,8

Випробування показали, що зносостійкість загартованих сталей підвищується зі збільшенням твердості в діапазоні 52...60HRC в 2...4 рази, особливо помітно підвищення твердості в хромистих сталях.

Зносостійкий хромований чавун, що має структуру ледебуриту і твердість 64...68 HRC, показав зносостійкість в 10-14 разів вищу за еталонну, тобто. практично аналогічну кераміці.

Нанесення керамічного покриття на основі оксиду алюмінію, нітриду або карбїду кремнію з твердістю від 17 до 25 ГПа підвищує зносостійкість у 4...14 разів. Максимальне збільшення зносостійкості в 150,6 рази спостерігається при використанні на поверхні покриття з твердого порошкового сплаву ВК8, що містить в кобальтовій зв'язці карбїд вольфраму.

Для захисту від абразивного зношування добре працюють наплавлення з високим вмістом карбїдоутворювальних легуючих компонентів. Тип і кількість карбїдної фази у сплавах істотно впливає на показники зносостійкості наплавних матеріалів. Найчастіше зміцнююча фаза в наплавлювальних сплавах містить карбїди: Fe₃C; Mn₃C; Cr₇C₃; W₂C; WC; VC; TiC; B₄C, Mo₂C, та ін., а також нітриди заліза, карбобориди та легуючі елементи.

Випробування зносостійких наплавлювальних матеріалів, що містять як легуючих елементів хром, марганець, кремній, нікель, молібден і бор, з твердістю поверхні 48...57 HRC показали збільшення зносостійкості в 2,4...4,9 рази [7].

Компанія Lincoln Electric, яка є світовим лідером розробки та застосування зносостійких наплавочних матеріалів, була розроблена діаграма, що дозволяє підібрати оптимальне співвідношення вуглецю та легуючих компонентів зносостійкого наплавлення для конкретних умов експлуатації, рис. 1.1.

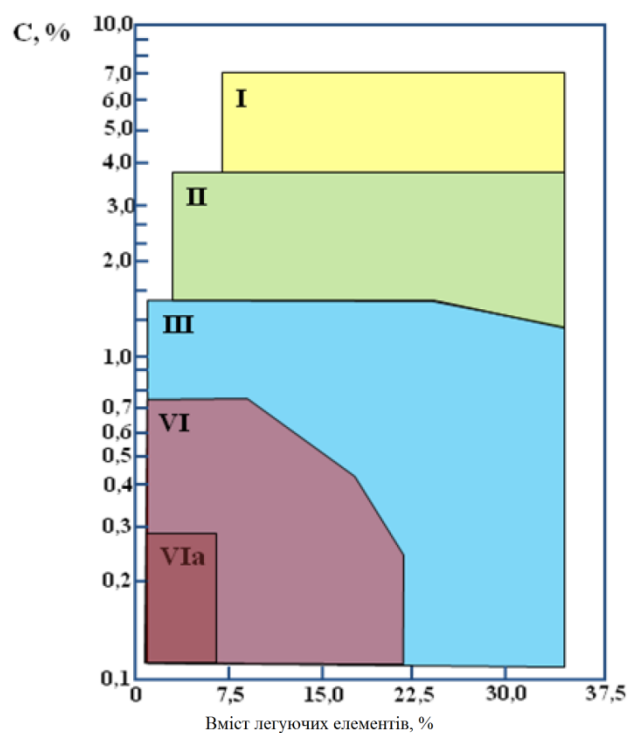


Рис. 1.1. Діаграма оптимального співвідношення вуглецю та легуючих компонентів у наплавлювальних матеріалах для різних областей застосування: I – матеріали, що протистоять абразивному зносу; II – матеріали, що протистоять абразивно-ударному зносу; III - матеріали, що протистоять ударному зносу; IV – матеріали, що протистоять зносу типу «метал – метал» при терті кочення та ковзання

Керуючись діаграмою Lincoln Electric для зміцнення робочої поверхні долота плуга, яке працює переважно в умовах абразивного зносу, найбільш підходящим наплавним матеріалом можна вважати сплав типу сормайт,

плазмове або дугове наплавлення яке можна виконати вітчизняними електродами ФБХ-6-2.

Часто використовуються з цією метою електроди ОЗН-6, Т-590, ПГУСЧ30 і ПГУСЧ31 мають недостатній вміст вуглецю (<4,0%) або надлишкове легування (>35%). Очевидно, це спричинило нижчу їх зносостійкість порівняно з ФБХ-6-2 (див. табл. 1.1).

Співвідношення зносостійкості та вартості матеріалів було проаналізовано в роботі [3] і показано на діаграмі малюнок 1.16.

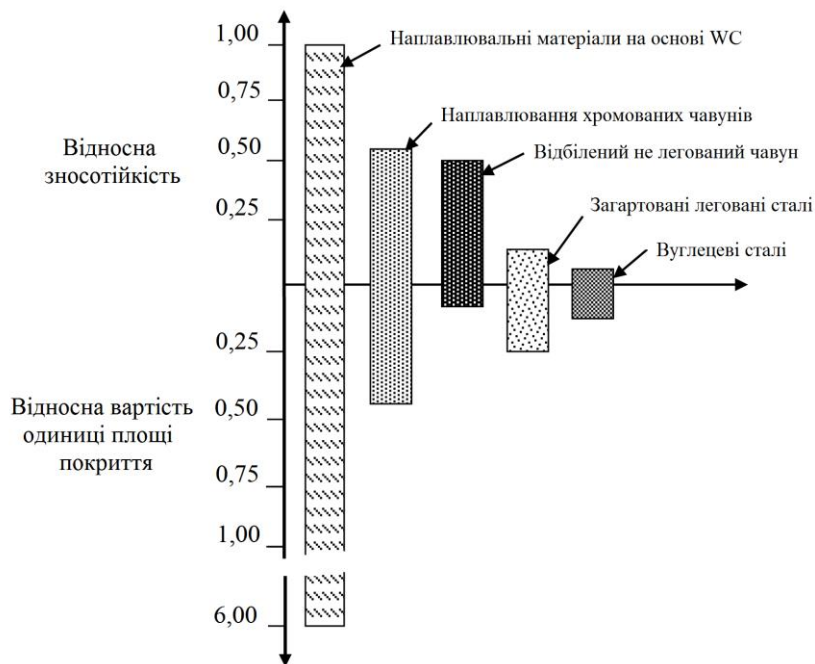


Рис. 1.2. Діаграма співвідношення вартості та зносостійкості матеріалів

На ринку запасних частин з'явилися пропозиції долот плуга J. Deere, виготовлених з половинчастих чавунів у структурі яких поряд з кулястим графітом, міститься від 10 до 30 об'єм.% евтектичних карбідів у бейнітній металевій основі, рис. 1.3.

Задану структуру і високу зносостійкість доліт J. Deere з чавуну забезпечує технологія Carbodic Austempered Ductile Iron (CADI) [4], яка передбачає коригування хімічного складу чавуну за вуглецевим еквівалентом і легування карбідотворюючими елементами, контрольоване охолодження.

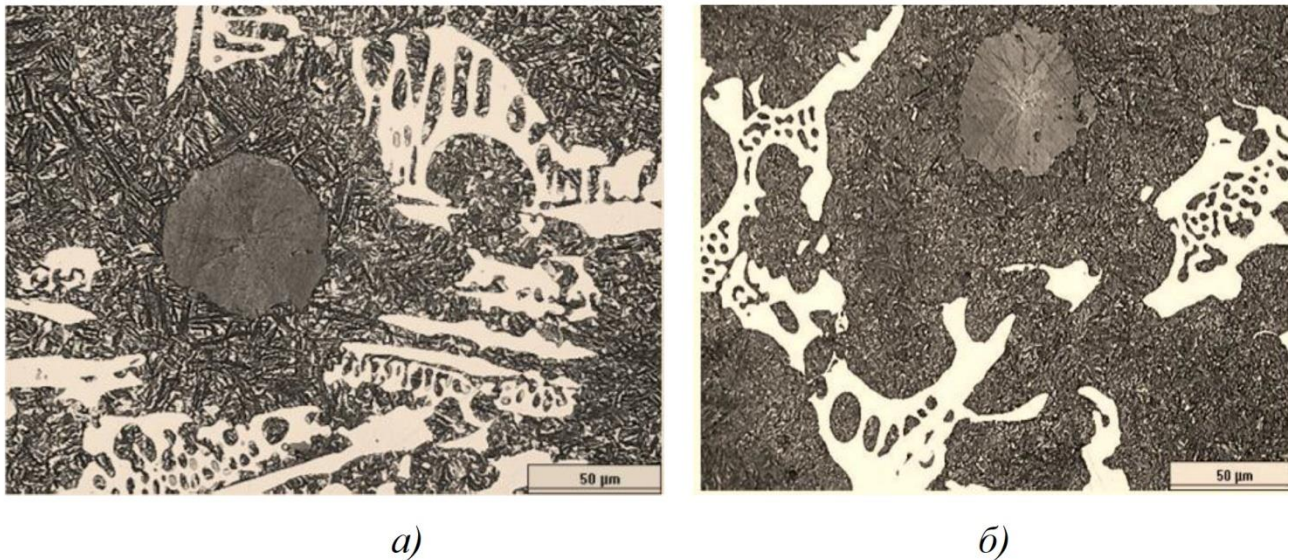


Рис. 1.3. Мікроструктура ВЧШГ чавуну, отриманого процесом *CADI*: а – з евтектичними карбідами у металевій матриці верхнього бейніту; б – нижнього бейніту

Охолодження відливок після вибивання з форми проводиться в режимі ізотермічного гартування в соляних ваннах з температурою 700°F (371°C) або 500°F (260°C) для отримання структури верхнього або нижнього бейніту в металевій матриці [2]. В останні роки активно розвивається тенденція виготовлення швидкозношуваних деталей тракторів, автомобілів та сільгоспмашин із чавуну замість сталі. Чавун найбільш повно задовольняє основним вимогам масового виробництва: високі експлуатаційні властивості, технологічність та економічні показники.

Експлуатаційні характеристики литих деталей з відбілених чавунів у поєднанні із заданою твердістю робочих поверхонь дозволяють досягти зносостійкості, що перевищує цей показник в аналогічних сталевих заготовок [2].

Зносостійкість чавуну і сталі досить чітко корелює з твердістю, рис. 1.4.

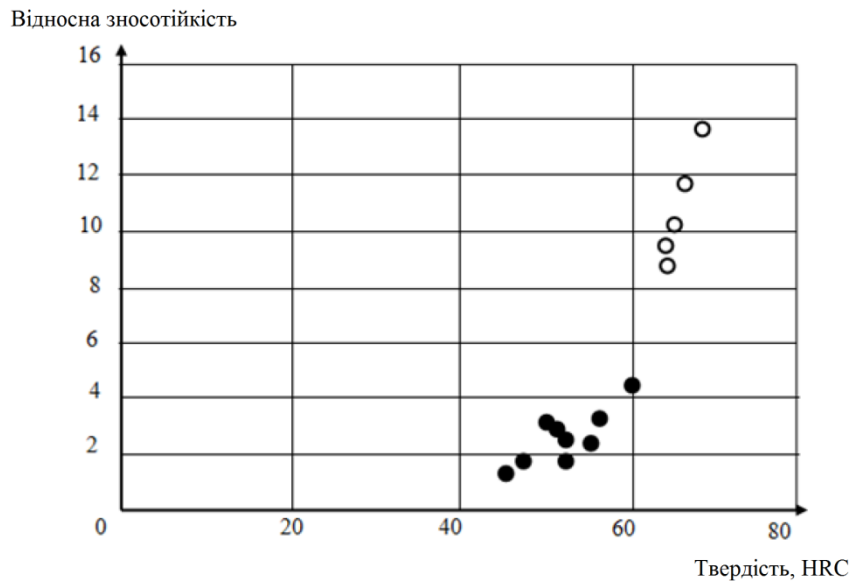


Рис. 1.4. Графік залежності відносної зносостійкості сталі та білого чавуну від твердості

Максимальне підвищення твердості сталі, яке можна досягти термічною обробкою та підвищенням вмісту вуглецю ($\Delta\text{HRC} \sim 15$), забезпечує приблизно дворазове збільшення зносостійкості. Наявність ледебуриту різко посилює залежність зносостійкості від твердості матеріалу. Порівняно невелике підвищення твердості ($\Delta\text{HRC} \sim 4$ од. HRC) різко збільшує зносостійкість білого чавуну в 9 разів щодо сталі і в 1,5 рази в порівнянні з чавуном.

Ці переваги відкривають великі можливості економії сталевого прокату, зниження трудомісткості механічної обробки з допомогою отримання литих заготовок зменшеної маси близьких по конфігурації до готової деталі.

У чавуні можна здійснювати регулювання вмісту карбідів, які різко підвищують зносостійкість. Застосування відбілених чавунів дозволяє отримувати необхідну твердість щонайменше 49 HRC.

Сірий чавун марок СЧ25 або СЧ30 цілком може задовольняти вимоги, що пред'являються до характеристик міцності деталей ґрунтообробних знарядь які в процесі експлуатації або виконання заданої технологічної операції слабо навантажені або відчують, в основному, напруження стиснення. Цей показник у сірого чавуну на рівні сталі.

Висока зносостійкість забезпечується створенням на поверхнях тертя відбіленого шару. Досягається це установкою в ливарну форму індивідуальних холодильників, виготовлення деталей в біметалевому виконанні, робоча поверхня яких виконана наплавленням білого чавуну або із застосуванням вставок з білого чавуну.

Часткове відбілювання сірого чавуну широко застосовується в автомобільній промисловості України та у відомих автомобільних фірмах Японії, Франції, Швеції, Польщі для зміцнення кулачків розподільних валів, табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад та характеристики відбіленого шару кулачків розподільних валів із сірого чавуну

Країна виробник	Вміст елементів у чавуні, %							Глибина відбілювання, мм	Твердість поверхні HRC
	C	Mn	Si	P	S	Cr	інше		
Україна	3,5...3,6	0,75...0,95	1,9...2,2	до 0,2	0,1...0,15	0,2...0,3	-	9,5...14	52...53
Швеція	3,5...3,6	0,75...0,95	1,9...2,2	до 0,2	0,1...0,15	до 1	Mo-1,0; Ni-0,5		
Франція	3,3...3,4	0,8...1,0	1,5...1,8	до 0,2	до 0,05	-	Mo- f,15-0,2	5	48...50
Японія	3,0...3,8	0,5...1,0	1,6...2,8	до 0,3	до 0,15	0,1...1,0	Mo-0,5; Ni -1,0		47
Польща	3,1...3,5	0,5...0,8	1,8...7,7	до 0,2	до 0,15	0,7...0,9	Ni-0,3; Si-0,7	5...20	

У розвитку виробництва чавунних розподільних валів чітко визначаються два основних напрямки:

- отримання виливок з однорідною структурою та подальшим зміцненням кулачків та ексцентриків поверхневим загартуванням з нагрівання СВЧ на мартенсит або поверхневим точковим оплавленням та формуванням відбілу;

- отримання виливок з поверхневим шаром кулачків та ексцентриків, вибіленим у процесі затвердіння за рахунок легування карбідотворюючими елементами, обмеження вмісту кремнію, регулювання швидкості охолодження.

Німецькою фірмою «AEG» розроблено метод отримання вибіленого шару шляхом оплавлення поверхні за допомогою локального джерела енергії Елотерм (Eloterm) – процес.

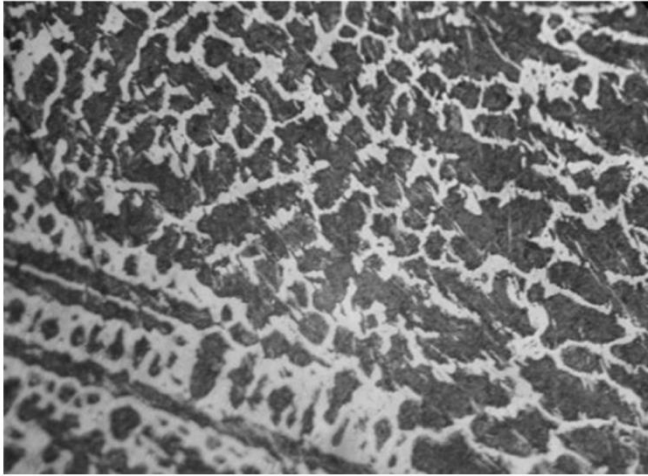
Цей метод широко застосовується для отримання на робочій поверхні кулачків чавунних розподільних валів та важелів клапанів з чавуну вибіленого шару товщиною 2...3мм.

Фірмою AEG-Eloterm були впроваджені у виробництво перші промислові установки для отримання вибілених виливок розподільних валів, способом, суть якого зводиться до того, що поверхня литої заготовки оплавляється в атмосфері інертного газу за допомогою електричної дуги між вольфрамовим електродом і заготовкою. Наступне охолодження невеликого об'єму розплаву, що утворився, відбувається з дуже високою швидкістю внаслідок інтенсивного тепловідведення на велику масу холодної частини виливки. Внаслідок цього відбувається метастабільна кристалізація оплавленого шару з утворенням ледебуритної евтектики, твердість поверхні досягає 56 HRC.

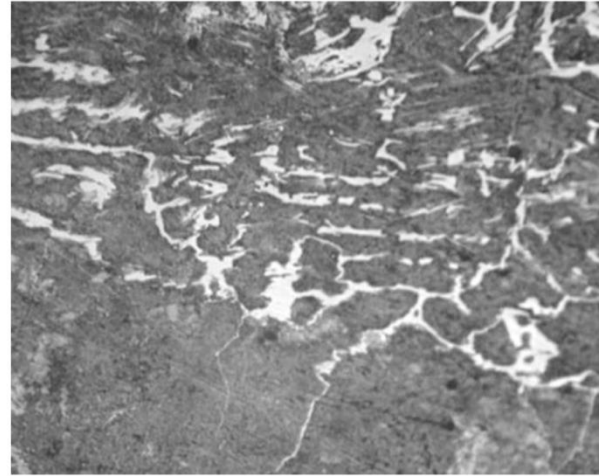
Чавун з ледебуритною структурою має більш високу зносостійкість у порівнянні з мартенситною структурою, отриманою в результаті індукційного загартування без оплавлення. Разом з тим висока небезпека утворення в вибіленому шарі газових раковин, пір, мікротріщин значно знижує переваги Елотерм – процесу [4, 9].

У нашій країні є досвід наплавлення із сірого чавуну на робочі кромки лемешів та лап культиваторів. Інтенсивне тепловідведення в момент затвердіння наплавленого чавуну викликає кристалізацію ледебуритної евтектики в наплавленому шарі, рис. 1.5, а, і забезпечує його високу твердість і зносостійкість.

Основним недоліком електродугового наплавлення є сильний перегрів основного металу в зоні термічного впливу, що викликає формування крупнозернистої структури, рис. 1.5, б.



а)



б)

Рис. 1.5. Мікроструктура леза лемеша зі сталі Л58 в зоні електродугового наплавлення білим чавуном (а) та в зоні термічного впливу (б) $\times 300$

У роботі [4] була випробувана технологія електроіскрового наплавлення, при якій наплавлений шар відбіленого чавуну має наддрібну скритокристалічну структуру, рис. 1.6, і більш високий опір зносу.

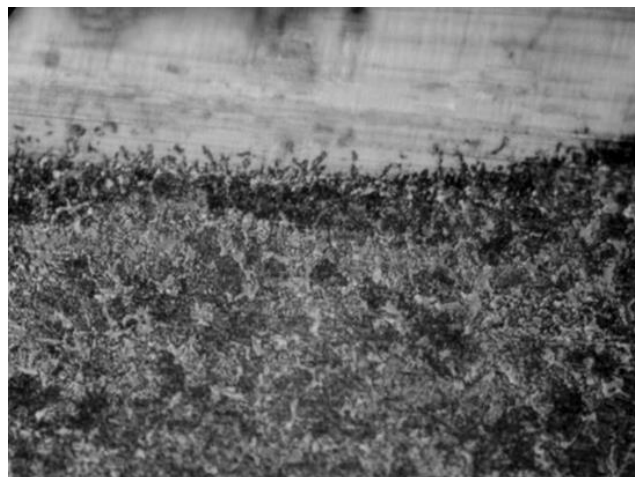


Рис. 1.6. Мікроструктура електроіскрового наплавлення в 0,1 мм з відбіленого чавуну на лапу культиватора, $\times 300$

Однак товщина шару, нанесеного електроіскровим наплавленням обмежена 0,1мм і для такого виробу як долото плуга явно недостатня.

Долота чизельного плуга, особливо в конструкціях з бічним кріпленням, що мають складну форму, доцільно виготовляти литтям з сірого або високоміцного чавуну. Високу зносостійкість чавунних доліт можна досягти литтям в фанерований кокіль або в піщано-глинисту форму з холодильником для отримання ледебуритної структури або термічної обробкою на мартенситну структуру металевої основи. Застосування ливарної технології дозволить уникнути проблем зі зварюванням за рахунок утворення у ній ледебуритної евтектики високої твердості на етапі затвердіння виливки. При цьому в області свердління отворів для кріплення долота до плуга оброблюваність різанням буде гарною, оскільки там відбудеться повна графітизація евтектики і буде структура сірого чавуну.

Висновки по розділу

У цілому за результатами проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

Прийнята в сучасному землекористуванні безвідвальна оранка і глибоке розпушування ґрунту, багаторазово збільшують навантаження на робочі органи орних агрегатів, що мають вкрай малий ресурс.

Основним матеріалом для виготовлення долот чизельного плуга є вуглецеві або малолеговані листові сталі.

Доведено доцільність виготовлення робочих органів литтям із сірого або високоміцного чавуну. Чавун найповніше задовольняє основним вимогам масового виробництва: високі експлуатаційні властивості, технологічність та економічність.

Мета та завдання дослідження За результатами проведеного аналізу можна сформулювати завдання досліджень, які необхідно провести для

досягнення поставленої в роботі мети – підвищення довговічності робочих органів чизельних знарядь.

1. Провести аналіз конструкційних матеріалів, застосовуваних виготовлення робочих органів чизельних знарядь;

2. Вивчити вплив термодинамічних (хімічного складу) та термокінетичних (умов охолодження при затвердінні) факторів кристалізації на формування структури робочої зони долота, на підставі чого обґрунтувати режими термічної обробки робочих органів чизельного зброї, виконаних з високоміцного чавуну, що забезпечують підвищення їх ресурсу;

3. Провести порівняльні польові випробування робочих органів чизельного зброї, виконаних із різних матеріалів, до граничного стану.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Програма експериментальних досліджень передбачала виконання наступних етапів:

- виготовлення виливків з високоміцного чавуну та з сірого чавуну;
- дослідження впливу різних режимів зміцнення термічною обробкою та оплавленням на мікроструктуру та твердість чавуну;
- дослідження мікроструктури та визначення твердості зразків чавуну, зміцнених різними методами;
- проведення натурних польових порівняльних випробувань експериментальних чавунних долот, зміцнених різними методами з серійними долотами;
- опрацювання експериментальних даних.

Об'єктом дослідження були долота чизельного знаряддя, рис. 2.1, виготовлені з міцного чавуну з подальшою термічною обробкою.

Предметом дослідження було вплив термічної обробки та локального оплавлення на мікроструктуру, зносостійкість та ресурс литих доліт чизельного знаряддя з чавуну в порівнянні з аналогічними якісними показниками серійного долота зі сталі 65Г.



а) вид зліва



б) вид справа

Рис. 2.1. Установка экспериментальных долот на стійку чизельного знаряддя.

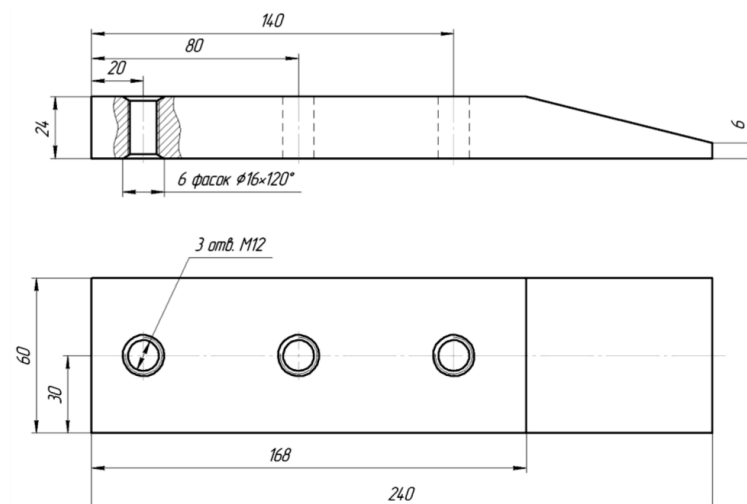


Рис. 2.2. Креслення долота плуга.

Основні параметри серійного та дослідних долот, поставлених на випробування, наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Коротка характеристика експериментальних долот

Показники	Значення показників для експериментальних партій				
	№1 Серійне долото	№2	№3	№4	№5
Марка матеріалу	Ст. 65Г	ВЧ-50	ВЧ-50	ВЧ-50	СЧ-20
Вид термічного обробітку	Об'ємне загартування з середнім відпуском	Ізотермічне загартування з низьким відпуском	Дискретне загартування з низьким відпуском	Дискретне загартування з низьким відпуском + лазерне зміцнення	Дискретне загартування з низьким відпуском + локальне загартування робочої поверхні нагрівом СВЧ з оплавленням робочої поверхні

Режими термічної обробки експериментальних долот наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри режимів термічної обробки експериментальних долот чизельного засобу

№ партії	Загартування		Лазерний обробіток в середовищі CO ₂			Відпуск
	Нагрів	Охолодження	Потужність, Вт	Швидкість руху променя, мм/хв	Перекриття доріжок, %	
1, серійне	Пічне, T _з =830°C, τ _{вит} =60хв	Олива	-	-	-	T _{від.} =350°C τ=90хв
2	Ступінчастий: до 600°C в печі по 100°C в 15 хв., далі до 900°C в соляній ванні, T _{вит} =40хв. Потім переніс в соляну ванну t=400°C витримка τ= 2 год.,	Повітря	-	-	-	T _{від.} =240°C τ=130хв

3	Пічне, $T_3=900^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{вит}}=60\text{хв}$	Дискретне: 15с – повітря, 1с – вода, 10с – повітря, 6с – вода, 15с- повітря, 40с - вода, до 20°C стиснутим повітрям	-	-	-	$T_{\text{від.}}=180^{\circ}\text{C}$ $\tau =90\text{хв}$
4	Пічне, $T_3=900^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{вит}} =60\text{хв}$	Дискретне: 15с – повітря, 1с – вода, 10с – повітря, 6с – вода, 15с- повітря, 40с - вода, до 20°C стиснутим повітрям. Після відпуску ЛТО.	2100	480	30	$T_{\text{від.}}=180^{\circ}\text{C}$ $\tau =90\text{хв}$
5	Пічне, $T_3=900^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{вит}} =60\text{хв} +\text{СВЧ}$, $T_3=930^{\circ} - 950^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{вит}}$ $=20\text{с}$ с оплавленням робочої поверхні	вода	-	-	-	$T_{\text{від.}}=180^{\circ}\text{C}$ $\tau =90\text{хв}$

Для визначення оптимальних параметрів загартування з дискретним режимом охолодження були виконані дослідження, у процесі яких варіювали кількість циклів охолодження та тривалість витримки робочої носової частини долота у воді та на повітрі у кожному циклі.

Параметрами оптимізації в цих експериментах були розподіл твердості перерізу виливки і мікроструктури по зонах виливки.

Експериментальні (дослідні з високоміцного чавуну та серійні зі сталі65Г) виливки, термооброблені за вибраними режимами, були піддані польовим випробуванням для визначення їх ресурсу.

Визначення твердості сірих і термооброблених доліт виконували при випробуваннях за допомогою стаціонарних приладів:

- НВ-3000В за методом Брінеля;

- ІТР-60/150М за методом Роквелла

– КВ-30 S за методом Віккерса.

Мікроструктуру зразків, вирізаних з експериментальних долот, досліджували на шліфах, травлених 4% ніталем (4% спиртовим розчином азотної кислоти) при збільшеннях від 100 до 1000 за допомогою оптичного мікроскопа Neophot-21.

Для проведення експерименту та досліджень використовували:

1. Трактор ДТ75

2. Ґрунтообробне знаряддя ОЧО-5×40 (рис. 2.3)



Рис. 2.3. Загальний вид ґрунтообробного знаряддя ОЧО-5×40

Порівняльні випробування долот до граничного зносу проводилися за видами робіт, що відповідають основному їх призначенню, в умовах, характерних для Житомирської області за рельєфом, станом ґрунту та іншими показниками якості роботи. Основні лабораторно-польові дослідження проведені в ТОВ «Райз-Полісся» на типових ґрунтах, що мають коефіцієнт питомого опору 7...12, мають малий вміст органічних залишків (гумусу – менше 2%), вологістю 8...10%.

Дослідні та серійні долота встановлювалися на одне ґрунтообробне знаряддя ОЧО-5×40, у послідовності, що відповідає номеру партії (див. табл. 3.2), що забезпечувало ідентичність умов проведення експерименту.

У процесі випробування у разі втрати працездатності дослідні долота замінювали лише дослідними долотами відповідного варіанту. Відбраковані долота зберігали і спрямовували на подальшу технічну експертизу.



Рис. 2.4. Робота агрегату в полі

При первинній технічній експертизі оцінювали відповідність дослідних і серійних зразків технічним умовам за якістю виготовлення, визначали масу долота, заміряли їх лінійні розміри по носку, довжині долота і перерізах по ширині відповідно до схеми обміру, рис. 2.5.

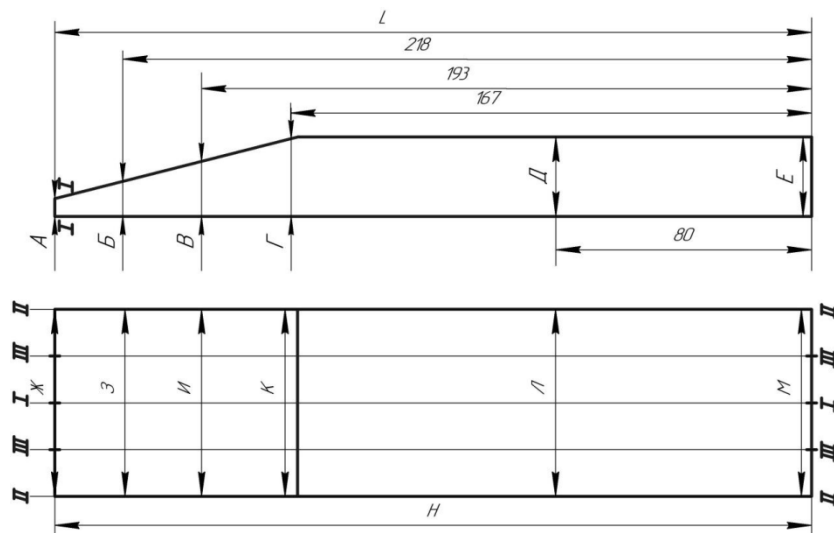


Рис. 2.5. Схема контрольованих розмірів за перерізами долота.

Після кожної зміни напрацювання 2,5 га на корпус, заміряли лінійні розміри доліт, визначали товщину ріжучої кромки носка, контролювали

утворення потиличної фаски з негативним кутом, її стану та динаміку розвитку, оцінювали самозаточування носка долота. Стан долотів контролювали щодня.

Вибраковування експериментальних зразків доліт здійснюється за такими показниками:

1. Нерівномірність глибини обробки, що перевищує межі агровиимог;
2. Виглиблення ОЧО 5-40;
3. Поломка долота;
4. Граничне зношування долота.

При заключній технічній експертизі знімаються лінійні та вагові показники всіх зразків, проводиться оцінка їх стану за всіма параметрами.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблено методику проведення досліджень та технологічний процес зміцнення.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методикою дослідження передбачалося проведення порівняльних лабораторних випробувань досліджуваного чавуну і сталі, термооброблених за різними режимами, на абразивну зносостійкість. Випробування проводилися на торцевій машині тертя відповідно до вимог та рекомендацій ДСТУ.

Нерухомий зразок із зусиллям 39,2 Н притискали до поверхні із закріпленим на ній карборундовим абразивом із величиною зерна 100 – 125 мкм. Абразивна поверхня рухалася щодо зразка із швидкістю 1,0 м/с. Загальний час випробування для кожного зразка становив 5 хвилин, вимірювання масового зносу зразка проводили через кожну хвилину випробування. Оцінку зносостійкості зразків проводили по відносній зносостійкості ε , що дорівнює відношенню втрати маси випробуваного зразка Δm до втрати маси еталонного зразка $\Delta m_{\text{ет}}$ в однакових умовах зносу відповідно.

При проведенні порівняльних випробуваннях на зносостійкість сталь 65Г була використана як зразок, її зносостійкість була прийнята за 1.

Динаміка втрати маси зразками експериментальних матеріалів при випробуваннях на абразивне зношування показано на рис. 4.1.

Результати випробувань показали, що найбільшою і близькою по величині зносостійкістю, що кратно перевищують зносостійкість інших досліджуваних матеріалів, мають сірий і високоміцний чавун з відбіленою робочою поверхнею. Так, для чавуну ВЧ50 з оплавленням поверхні при ЛТО відносна зносостійкість склала $\varepsilon = 4,02$, а для чавуну СЧ20 після гарту ТВЧ – $\varepsilon = 3,6$. Чавун ВЧ50 з вибіленим шаром, отриманим при ЛТО, зберігав високі значення зносостійкості не до кінця випробувань, починаючи з довжини шляху тертя 200 м, втрати маси дещо зросли, що обумовлено малою товщиною вибіленого шару та його зносом під час випробувань ($\varepsilon = 4,02 - 2,56$).

Сталь Hardox 400 ($\varepsilon = 0,91$) показала опір зносу, співмірний з результатами сталі 65Г ($\varepsilon = 1$), термообробленої на близьку по величині твердість. У стані ізотермічного та термоциклічного загартування на бейніт значення зносостійкості були у чавуну ВЧ50 ($\varepsilon = 1,88-2.19$).

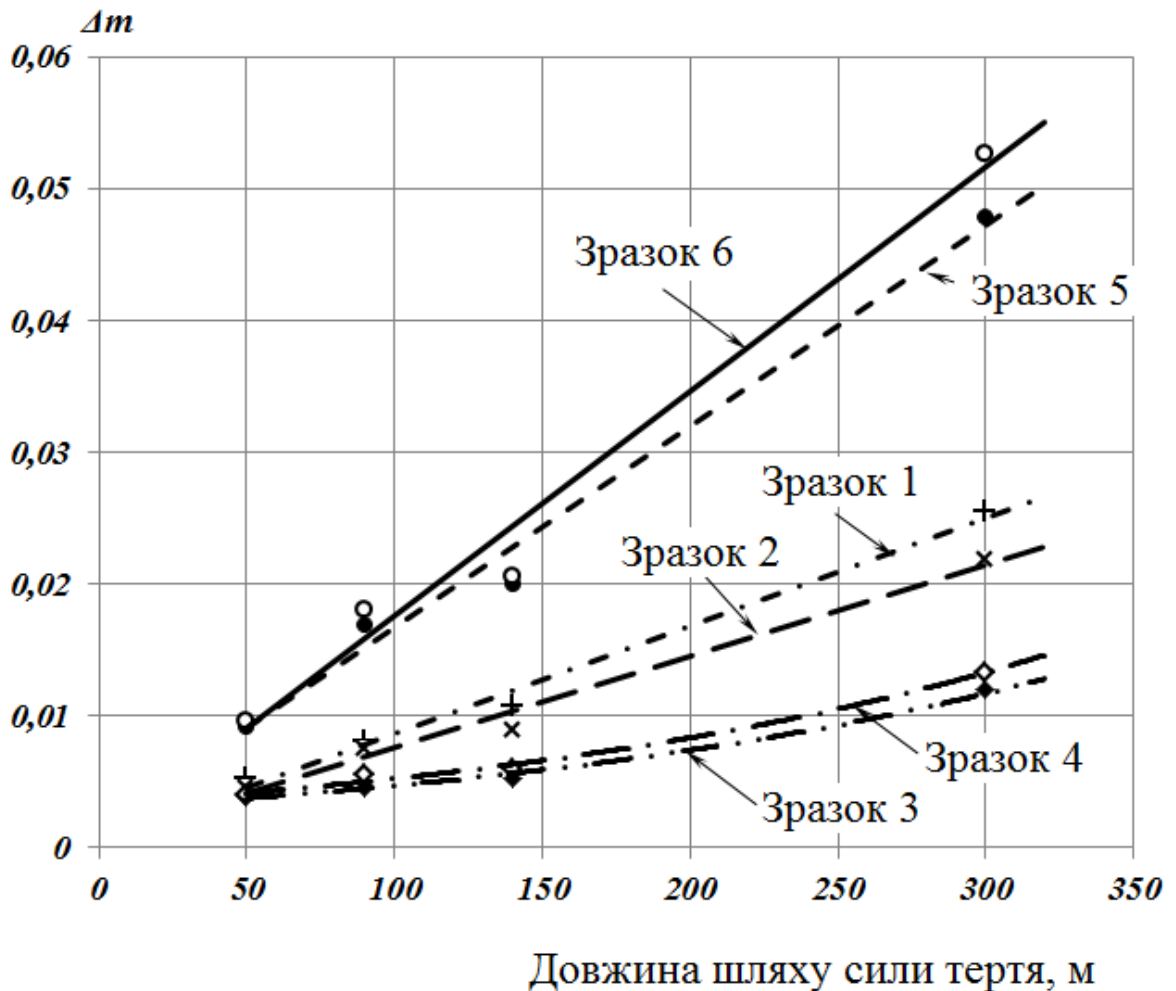


Рис. 4.1. Залежність зміни маси експериментальних зразків від довжини шляху тертя.

Відповідно до програми польових випробувань у процесі експерименту фіксувалося зміна маси експериментальних зразків. Зміна маси визначалося різницею маси, зафіксованої при певному напрацюванні, до маси відповідного зразка до початку випробувань. Результати випробувань представлені малюнку 4.2.

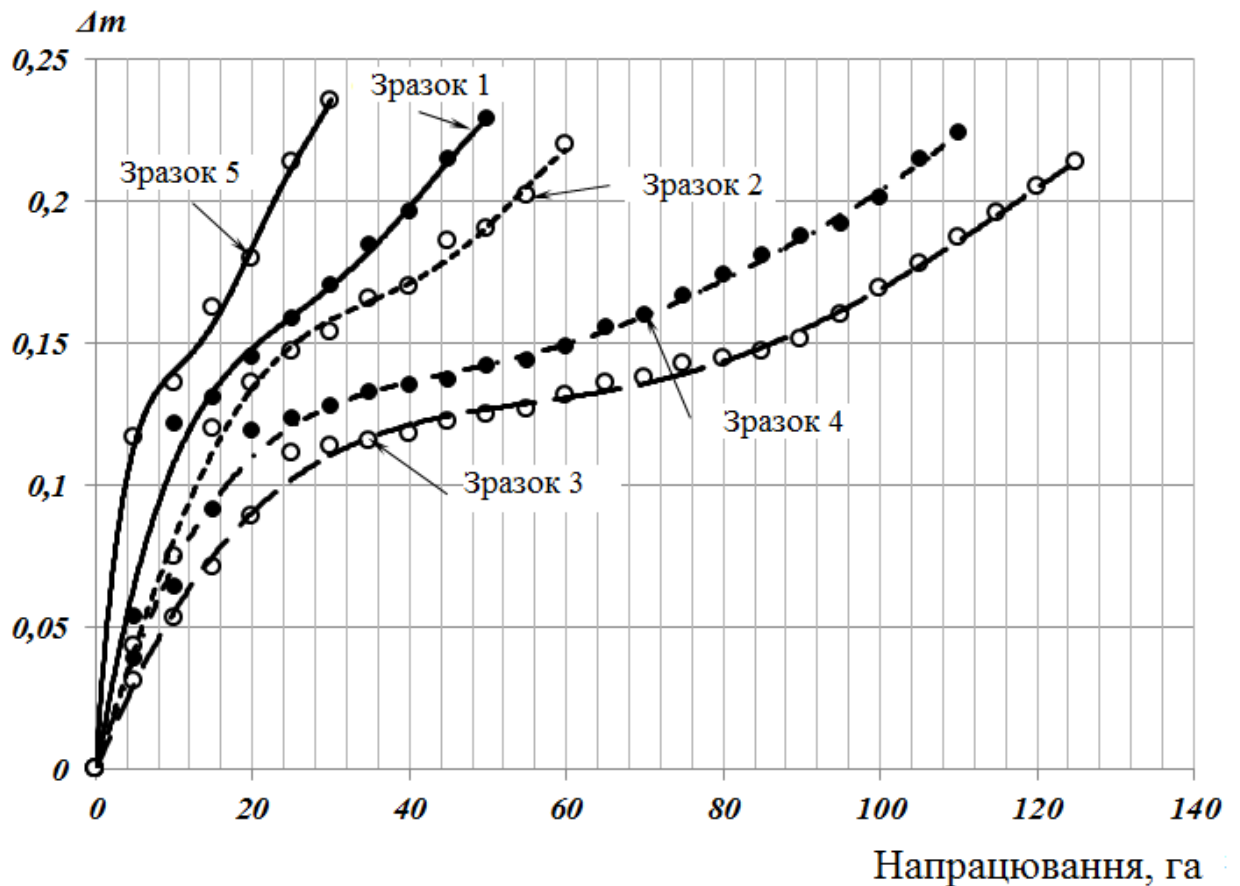


Рис. 4.2. Зміна маси експериментальних зразків (долот) у частках відсотка, залежно від напрацювання.

Аналіз представлених даних показує, що найбільшу зносостійкість мають зразки, виконані з чавуну ВЧ-50 з оплавленням робочої поверхні лазером. Дана термічна обробка дозволила збільшити технічний ресурс робочих органів більш ніж у чотири рази. Причому явно не лінійний характер зносу, при досягненні напрацювання 80 га, свідчить про стирання тонкого вибіленого шару в цьому діапазоні.

Оплавлення робочої поверхні струмами високої частоти також дає сумірні результати, максимальне напрацювання таких робочих органів становило 110 гектар, що у 3,5 вище, ніж у сталі 65Г.

Використання термоциклічного гартування дозволило підвищити ресурс робочих органів у 2-2,2 рази, що є суттєвим показником.

У цілому нині результати польових випробувань добре узгоджуються з результатами, отриманими в лабораторних умовах, значення показників відносної зносостійкості залишилися на тому ж рівні.

Згідно з рисунком 2.5 як основні контрольовані перерізи робочого органу були обрані переріз А-А, що проходить через вісь симетрії робочого органу в фронтальній площині і переріз В-В, що проходить через бічну грань робочого органу. Зміна контрольованих перерізів для різних експериментальних зразків представлена рис. 3.3-3.3. По осі ординат на графіках відкладено відношення лінійного розміру контрольованого перерізу в даний період напрацювання до його лінійного номінального розміру. Усі зразки вибраковувалися при значенні $\Delta = 0,2 \dots 0,22$ перерізу А-А. Досягши цього значення, знос робочого органу починав частково переходити на стійку кріплення робочого органу, що є неприпустимим явищем.

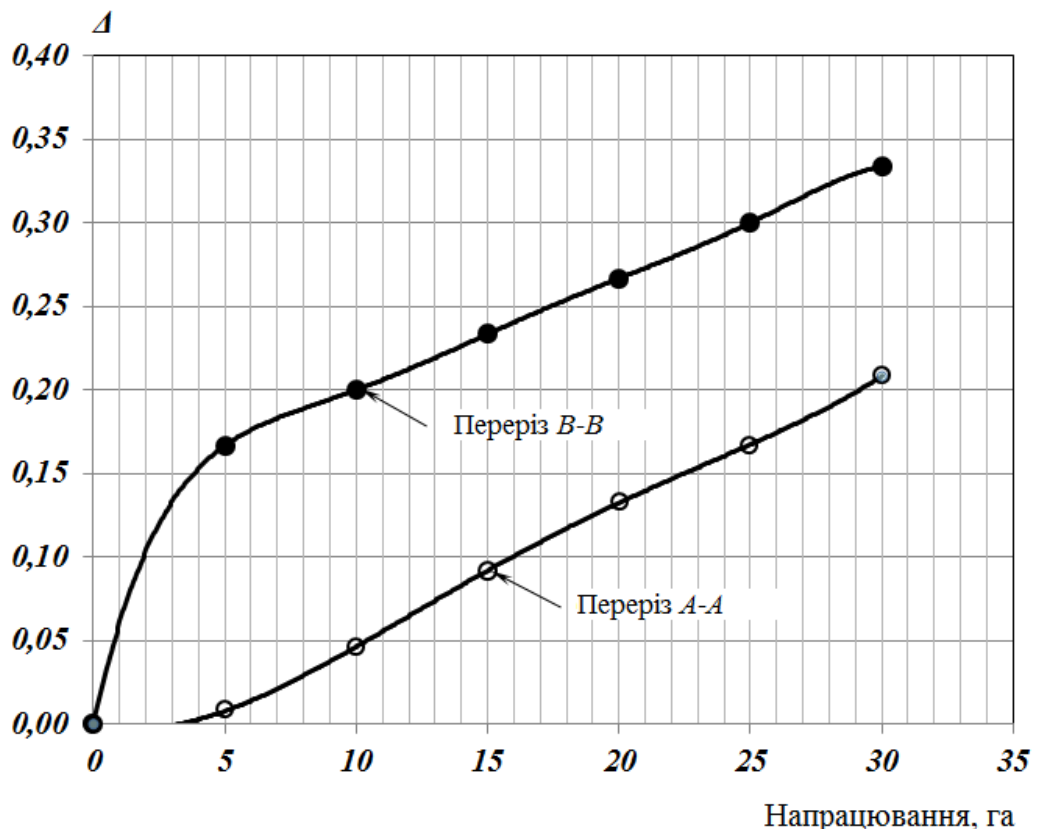


Рис. 3.3. Зміна розмірів контрольованих перерізів залежно від напрацювання зразка. Зразок №5.

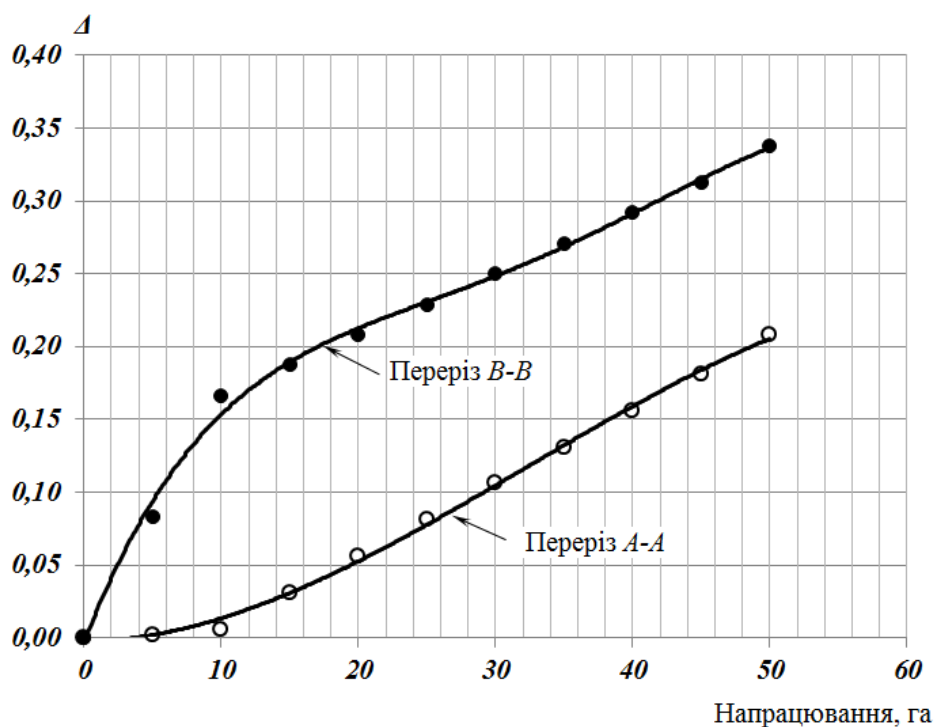


Рис. 3.4. Зміна розмірів контрольованих перерізів залежно від напрацювання зразка. Зразок №1.

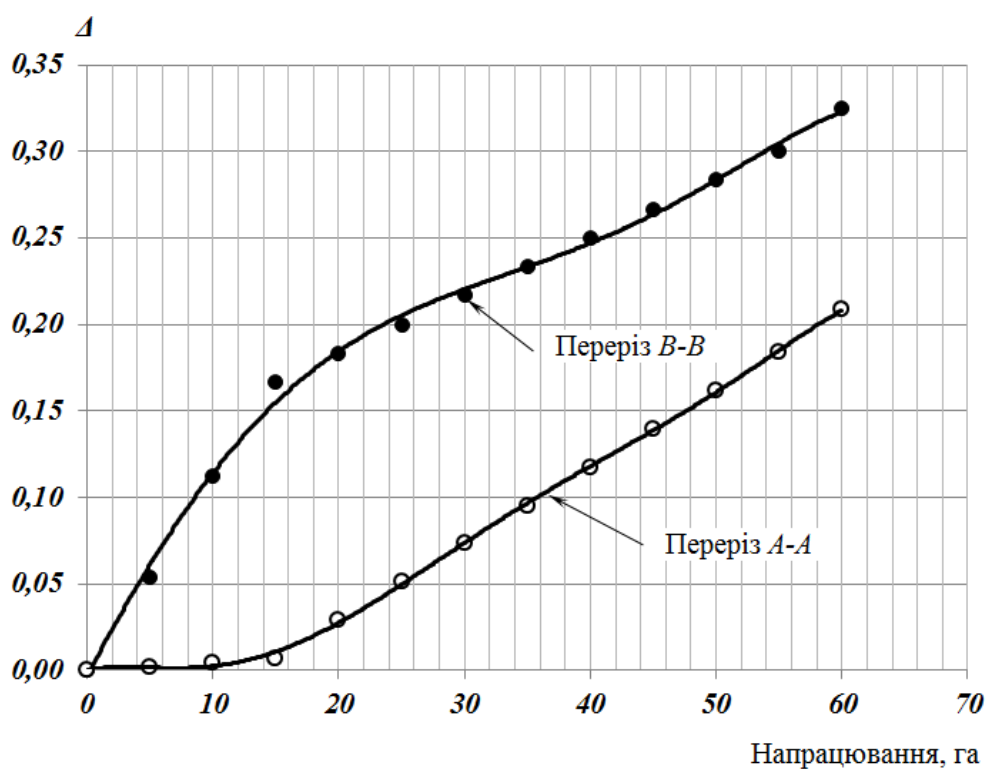


Рис. 3.5. Зміна розмірів контрольованих перерізів залежно від напрацювання зразка. Зразок №2.

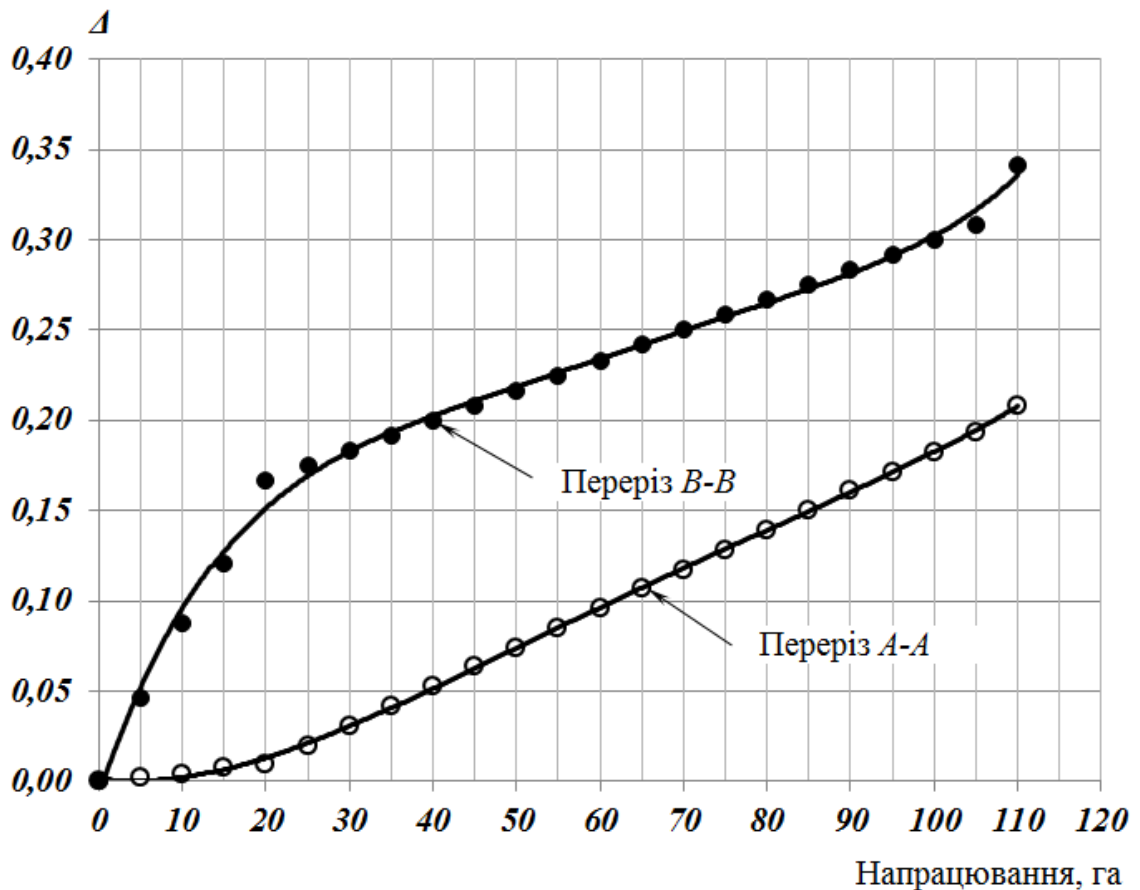


Рис. 3.6. Зміна розмірів контрольованих перерізів залежно від напрацювання зразка. Зразок №4.

Аналіз експериментальних кривих показує, що в процесі зносу робочої поверхні можна виділити два етапи: етап припрацювання і етап роботи, що встановилася. Етап припрацювання, характеризується інтенсивним зносом перерізу *B-B*, до стану, що забезпечує переміщення робочого органу в ґрунтовому середовищі з мінімальними енергетичними витратами. На момент цього етапу лінійні розміри перерізу *A-A* залишаються практично постійними. Другий етап, характеризується значною тривалістю по відношенню до першого етапу і супроводжується одночасною зміною лінійних розмірів аналізованих перерізів, причому інтенсивність зносу перерізу, на цьому етапі, однакова.

Незважаючи на те, що експериментальні зразки були виконані з різних матеріалів, характер протікання зміни лінійних розмірів контрольованих перерізів відбувається у них абсолютно однаково, це підтверджується графічними залежностями зміни лінійних розмірів, побудованих для відносного

напрацювання зразків. Під відносним напрацюванням розуміється відношення поточного напрацювання аналізованого зразка до максимального напрацювання в момент його вибраковування.

Висновки по розділку

Результати випробувань показали, що найбільшою і близькою за величиною зносостійкістю, що кратно перевищує зносостійкість сталі 65Г, мають сірий і високоміцний чавуни з відбіленою робочою поверхнею. Так, для чавуну ВЧ50 з оплавленням відносна зносостійкість склала $\varepsilon = 4,02$, а для чавуну СЧ20 після гартування СВЧ – $\varepsilon = 3,6$. Чавун ВЧ50 з відбіленим шаром, отриманим при ЛТО, зберігав високі значення зносостійкості не до кінця випробувань, починаючи з довжини шляху тертя 200 м, втрати маси дещо зросли, що обумовлено малою товщиною відбіленого шару та його зносом під час випробувань ($\varepsilon = 4,02 - 2,56$). Сталь Hardox 400 ($\varepsilon = 0,91$) показала опір зносу, приблизно рівний з результатами сталі 65Г ($\varepsilon = 1$), термообробленої на близьку за величиною твердість. В стані ізотермічного та термоциклічного загартування на бейніт, значення зносостійкості у чавуну ВЧ50 склали $\varepsilon = 1,88-2,19$.

Результати польових випробувань добре узгоджуються з результатами, отриманими в лабораторних умовах, показники відносної зносостійкості залишилися практично на тому ж рівні.

Незважаючи на те, що експериментальні зразки були виконані з різних матеріалів, характер протікання зміни лінійних розмірів контрольованих перерізів відбувається у них абсолютно однаково, це підтверджується графічними залежностями зміни лінійних розмірів, побудованих для відносного напрацювання зразків (долот).

ВИСНОВКИ

Основними конструкційними матеріалами, що застосовуються для виготовлення долот чизельних знарядь, є вуглецеві або малолеговані листові сталі. Доведено доцільність виготовлення робочих органів литтям із сірого або високоміцного чавуну. Чавун найповніше задовольняє основним вимогам масового виробництва: високі експлуатаційні властивості, технологічність та економічність.

Для формування оптимальної глибини та структури зносостійкого відбіленого шару виливок слід використовувати низькомарганцеві та низькокремністі високоміцний чавун з низьким вмістом марганцю та кремнію, а також низьким значенням кремнієвого еквівалента евтектики. Робоча зона носової частини робочого органу, що активно піддається абразивному зносу повинна мати твердість не менше 400-450НВ. Перехідна зона повинна мати твердість у межах 220-260 НВ, в зоні кріплення робочого органу твердість деталі не повинна перевищувати 140 НВ. Значення твердості функціональних зон забезпечуються відповідним структуруванням: у робочій зоні бейніт або відпущений мартенсит, у перехідній зоні феритна або феритно-перлітна структура, в зоні кріплення перлітна структура. Доведено та експериментально підтверджено можливість формування заданих структур та властивостей по зонах виробу з високоміцного чавуну з одного об'ємного нагріву заготовок.

Результати польових випробувань показали, що найбільшим і близьким за величиною ресурсом, що кратно перевищує ресурс зразків, виконаних зі сталі 65Г, мають зразки, виконані з сірого та високоміцного чавуну з відбіленою робочою поверхнею. Для зразків з чавуну ВЧ50 з оплавленням ЛТО ріжучої кромки збільшення ресурсу склало 4,02 рази, а для зразків чавуну СЧ20 з наступним загартуванням СВЧ з оплавленням –3,6 рази,

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Іщенко В. В. Сільськогосподарські машини. Київ: НУБіП України; Агроосвіта, 2015. 678 с.
2. Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ : ІПТО НАПН України, 2015. 291 с.
3. Борак К. В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.04 / Житомирський національний агроекологічний університет. Житомир, 2013. 217 с.
4. Мазур В.І., Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. Сплави на основі заліза. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 500 с.
5. Чумак М.Г. Матеріали та технологія машинобудування. Київ : Либідь, 2000. 368 с.
6. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. Москва : Машиностроение, 2010. 280с.
7. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Харків : Мачулін, 2016. 244 с.
8. Брыков М. Н. Абразивное изнашивание железоуглеродистых сплавов. *Трение и износ*. Том 27, №1. С. 105-109.
9. Парфенов В.Д. Структура, свойства и применение чугунок. Москва : Московский государственный университет путей сообщения. 2016. 53 с.
10. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин. Москва : Машиностроение, 1966. 332 с.
11. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследования изнашивания металлов. Москва : Издательство АН СССР, 1960. 272 с.
12. Хрущов М. М. Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин. Москва : Машиздат, 1960. 200 с.

12. Ткачев В.Н. Методы повышения долговечности деталей машин
Москва : Машиностроение, 1971. 272.

13. Richardson R.C.D. Wear of Metals by Relatively Soft Abrasives. *Wear*.
1968. Vol. 11. p. 245-275.

14. Stachowiak Gwidon W. Wear: Materials, Mechanisms and Practice. John
Wiley & Sons Ltd, 2005. 480 p.