2МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

“Підвищення довговічності долот глибокорозпушувача Horsch Focus 7 в умовах ТОВ Мрія “Сервіс” нанесенням зносостійких покриттів ”

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)
Андрій НЕТЛЮХ
(Ім’я та прізвище)

Керівник: д.т.н. проф. Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(Ім’я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)
д.т.н., професор Власовець В.М.
"28" квітня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Нетлюху Андрію Володимировичу

1. Тема роботи: **«Підвищення довговічності долот глибокорозпушувача Horsch Focus 7 в умовах ТОВ Мрія "Сервіс" нанесенням зносостійких покриттів»**

Керівник роботи: *Власовець Віталій Михайлович*, д.т.н., проф.

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01.2024 року

3. Вихідні дані: *Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити:
1. Огляд інформаційних джерел;
2. Матеріал і методи досліджень;
3. Підвищення довговічності долот та їх експлуатаційна стійкість;
4. Моделювання довговічності при використанні зносостійкого покриття в середовищі SolidWorks Simulation;
Висновки і пропозиції;
Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:
Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: мета та завдання досліджень; схеми формування балансів для розвитку рослин; передпосівний обробіток - вимоги; обладнання фірми HORCH; форма профілю зношеної лапи; класифікація засобів підвищення зносостійкості; долота після наплавлення та експлуатації; розрахунок довговічності зразка з наплавкою високолегованим інструментальним сплавом.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Власовець В.М. д.т.н., проф. кафедри машинобудування			

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	*Виконання розділу: «Огляд інформаційних джерал»*	*28.04.23-15.06.23*	
2.	*Виконання другого розділу: «Метеріали і методи досліджень»*	*16.06.23-15.08.23*	
3.	*Виконання розділу: «Результати екплуатаційних досліджень»*	*16.08.23-08.11.23*	
4.	*Виконання розділу: «Підвищення довговічності долот та їх експлуатаційна стійкість»*	*09.1123-11.12.23*	
5.	*Виконання розділу: «Моделювання довговічності при використанні зносостійкого покриття в середовищі SolidWorks Simulation»*	*12.12.23-3.01.24*	
6.	*Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому*	*4.01.24-15.01.24*	

Студент _____ Андрій НЕТЛЮХ
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(підпис)

УДК 631.332

Підвищення довговічності долот глибокорозпушувача Horsch Focus 7 в умовах ТОВ Мрія “Сервіс” нанесенням зносостійких покриттів.

Нетлюх А.В. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

71 с. текст. част., 16 рис., 7 табл., 27 джерел інформації.

Метою роботи є підвищення довговічності долот глибокорозпушувача Horsch Focus 7 в умовах ТОВ Мрія “Сервіс” нанесенням зносостійких покриттів.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі.

Визначено особливості зношування та формоутворення в процесі експлуатації робочих органів.

Встановлено устаткування для втомних випробувань та використані зразки

Підвищено довговічність долот та їх експлуатаційна стійкість.

Сформульовано напрямки подальшого підвищення довговічності.

ЗМІСТ

Вступ 6

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ 7

1.1. Особливості використання сільськогосподарської техніки від компанії HORCH 7

1.2. Особливості зношування та формоутворення в процесі експлуатації робочих органів 15

1.3. Ґрунт як джерело абразивного зношування робочих органів сільськогосподарських машин 20

1.4. Обґрунтовування вибору матеріалів і технологічних способів підвищення зносостійкості 22

1.5. Висновки 30

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ 31

2.1. Устаткування для втомних випробувань та використані зразки 31

2.2. Хімічний склад використаних матеріалів для наплавлення 33

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 34

3.1. Підвищення довговічності долот та їх експлуатаційна стійкість 34

3.2 Моделювання довговічності при використанні зносостійкого покриття в середовищі SolidWorks Simulation 42

ВИСНОВКИ 51

Список використаних джерел 52

ВСТУП

Актуальним питанням сучасного машинобудування є розробка заходів щодо підвищення зносостійкості та зниження енерговитрат робочих органів машин, які під час експлуатації взаємодіють з абразивним ґрунтовим середовищем.

Через вплив ґрунту на їх поверхні ріжучі кромки підлягають заміні або відновленню через підвищений тяговий опір і витрату паливно-мастильних матеріалів, що призводить до інтенсивного абразивного зношування.

Незважаючи на широкі дослідження зміцнення робочих органів, існує обмежена кількість теоретичних і експериментальних доказів на підтримку використання методів локального зміцнення. Відсутність універсальних рекомендацій щодо підвищення зносостійкості долот та лап культиватора зумовлена різноманітними факторами, такими як умови експлуатації, ґрунтове середовище та параметри робочих органів.

Дана робота присвячена дослідженням можливостей підвищення довговічності долот глибокорозпушувача Horsch Focus 7 в умовах ТОВ Мрія “Сервіс” нанесенням зносостійких покриттів.

РОЗДІЛ 1.
ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

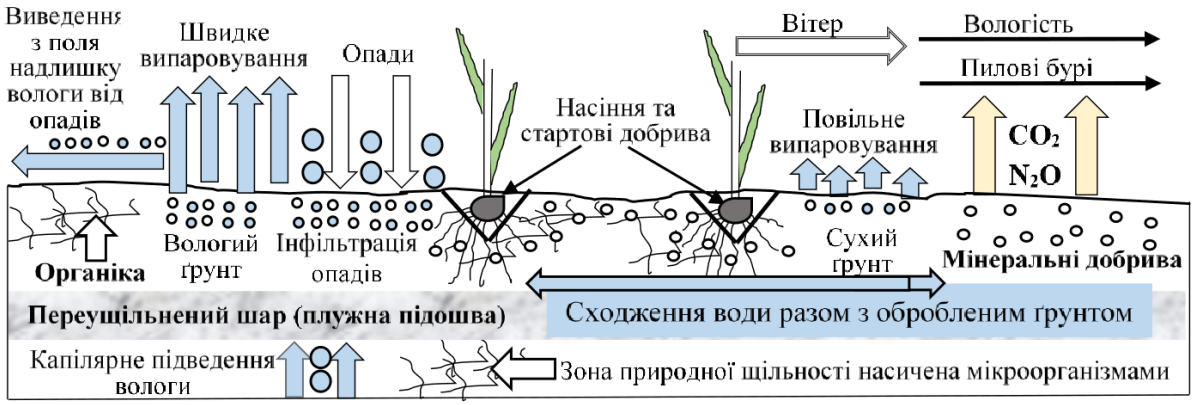
Дослідження конструктивних особливостей та взаємодії з ґрунтом необхідне для розгляду проблеми підвищення зносостійкості робочих органів. Зношення робочих поверхонь долот глибокорозпушувачів може сильно відрізнятися залежно від використовуваних параметрів, таких як геометричні параметри, вибір матеріалу та методи зміцнення, а також абразивне середовище ґрунту. Необхідно ретельно вивчити сучасні конструкції, їх вимоги, робочі модифікації та наукові методи підвищення їх довговічності та абразивних характеристик. Це вимагає виявлення перспективних наукових шляхів підвищення зносостійкості та зниження споживання енергії при використанні органів сільськогосподарської техніки.

1.1 Особливості використання сільськогосподарської техніки від компанії HORCH.

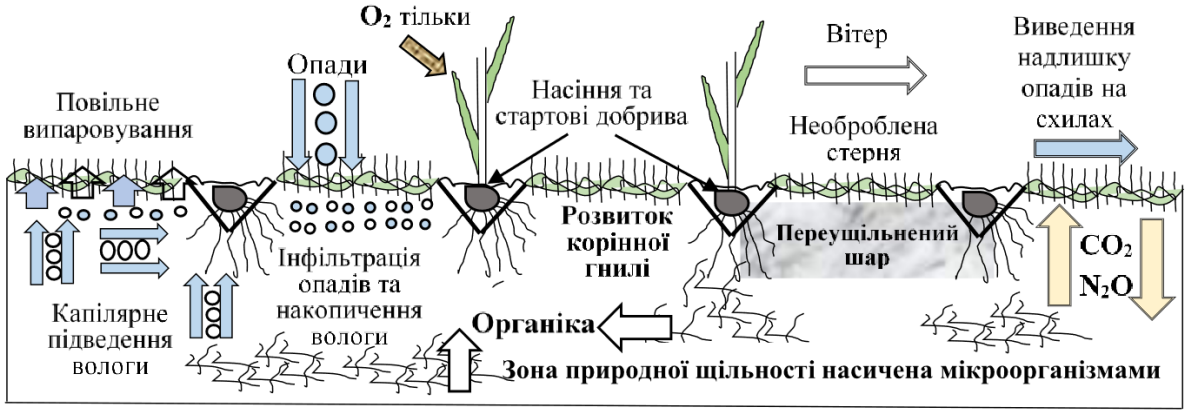
Вибір правильного методу посіву має вирішальне значення для максимізації продуктивності та економії грошей. Найкращий спосіб посіву можна вибрати на основі типу ґрунту, сівозміни та рослинності для задоволення конкретних сільськогосподарських потреб. З настанням частих посух сучасне сільське господарство все більше покладається на прямий посів і технологію Strip Till (рис. 1.1). «Комплексне внесення добрив і точний висів поєднуються, щоб забезпечити декілька переваг стрічкового обробітку ґрунту:

- рещтки, отримані від попередника, перешкоджає поступовому висиханню ґрунту;
- збереження пожнивних решток на поверхні поля запобігає виникненню ерозії;
- скупчення слизу;
- покращена водна рівновага;

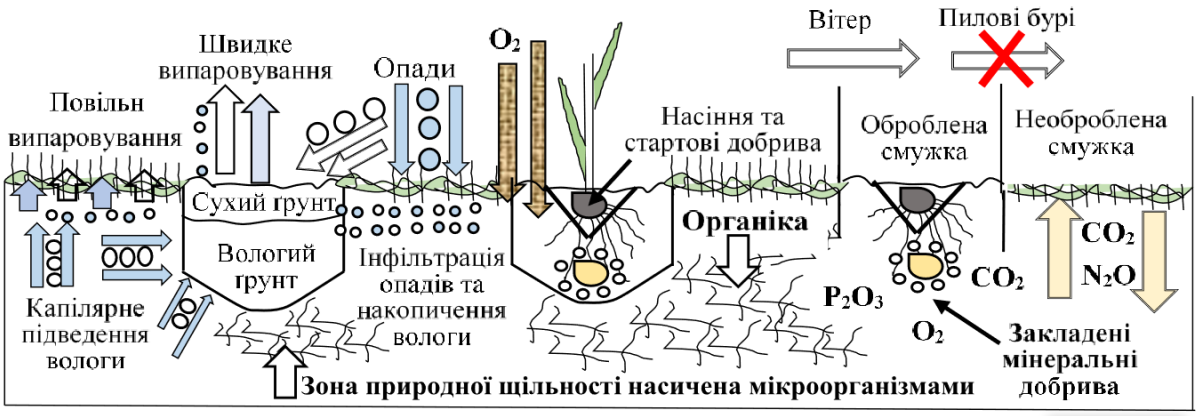
- більша активність черв'яків завдяки навмисному та мінімальному обробітку ґрунту.



а)



б)



в)

Рисунок 1.1 - Схеми формування необхідних балансів для розвитку рослин у системах обробітку ґрунту: а – основний обробіток ґрунту Full Till; б – Нульовий обробіток ґрунту No-Till; в – смуговий обробіток ґрунту Strip Till

Оптимальна структура ґрунту складається з 50% об’єму під ґрунтовими фракціями, 25% води та 25% повітря. Фракції ґрунту в горизонті посіву повинні бути не менше половини розміру зерна для утворення повітряних пор і половини водних капілярів. Це важливо для процесу розвитку рослин на початковій стадії (рис. 1.2).

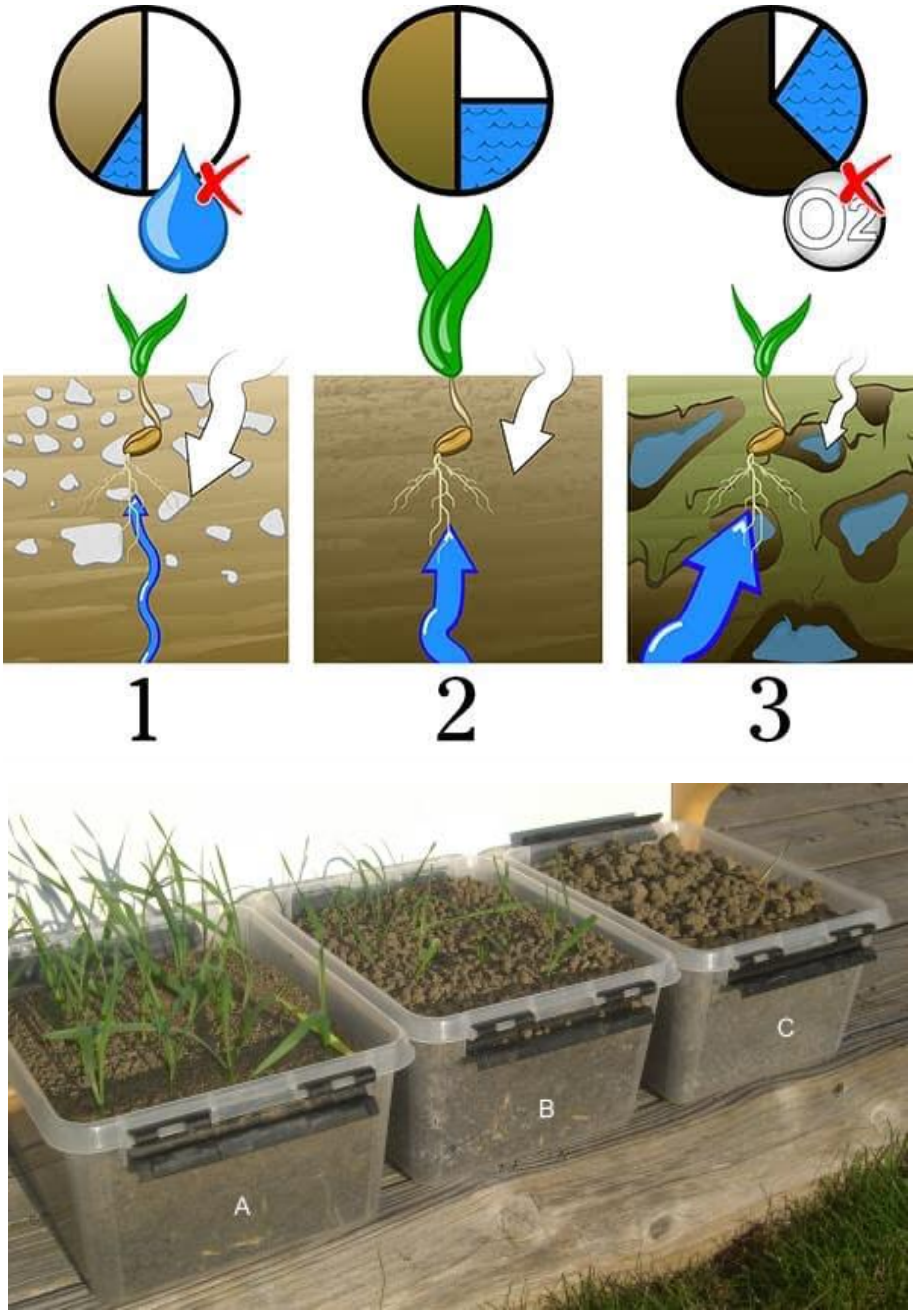


Рисунок 1.2 – Передпосівний обробіток: вимоги до посівного фону

Якщо ґрунт не обробляється інтенсивно перед посівом, груда стає більшою, а пори зменшуються, що призводить до втрати вологи та зменшення водяних капілярів. Це також обмежить надходження вологи з більш глибоких горизонтів. Таким чином, ознаки дружності не будуть співпадати з ідеальними балами, що призведе до нерівності сходів.

Очищення посівних горизонтів усуває небажані пожнивні рештки. Таким чином, загортання насіння стає більш ефективним. Сухі умови сприяють більш рівномірному сходу. HORSCH Focus зосереджується не лише на якості просапних культур, таких як кукурудза та буряк, а й на їх використанні в посіві зернових культур за допомогою технології Strip Till для підвищення врожайності, особливо під час посіву ріпаку за цією технікою. Завдяки навмисному розпушенню ґрунту та внесенню добрив у рядок рослини ріпаку демонструють стабільність і розвивають міцне коріння, що підвищує їх стійкість до посухи. Понад десять років HORSCH виробляє лінійку Focus і постійно вдосконалює її, щоб задовольнити потреби та вподобання клієнтів, що розвиваються, пропонуючи різноманітні варіанти обладнання та адаптивність до незліченних умов. Основними особливостями модельного ряду Focus є глибокий розпушування (за рахунок внесення добрив у цей рядок) і точний висів за один робочий прохід. Посівні комплекси укомплектовані перевіреними компонентами розсади та ґрунтообробної техніки HORSCH. Машини Focus допомагають скоротити робочі операції, запобігти ущільненню ґрунту та підтримувати вологість у ґрунті.

Враховуючи економічність машини Focus дозволяють поєднати кілька робочих операцій за один прохід. Залежно від росту рослини, сівозміни, типу ґрунту та особистих переконань кожен фермер має свої специфічні потреби щодо машинного чи тракторного парку. Поточна лінійка моделей HORSCH Focus має робочу ширину від 4 до 7 м. Діапазон фокусування розділений на 4 і 6 метрів від ширини рядку. Крім того, модельний ряд Focus 6 пропонує різні варіанти 3-точкового навішування, а

також більш потужну машину Focus 7, розроблену для важких умов експлуатації із інтегрованим кузовом HORSCH для оптимальної продуктивності.

Використовуючи Focus 6 TD і 3-точкову зчіпку, можна швидко зняти робочий орган та приєднати HORSCH Maestro. Глибоке розпушування за технологією StripTill вимагає відповідного кроку відбитка лапи для різних секцій висіву та відмінностей міжряддя. Focus 6TD із 3-точковим навішуванням може мати міжряддя 30 см, 50 см та 75 см (з індивідуальними відстанями між лапами, що перевищують транспортну ширину 3 м).

Сумісність машини з багатьма культурами обумовлена вибором способу внесення добрив і відстанню між лапами, яку можна регулювати одним або двома способами. Зубці HORSCH ULD+ є найкращим варіантом, якщо вам потрібно глибоко розпушити ґрунт і внести добрива, не перемішуючи землю, щоб запобігти втраті вологи. Якщо потрібно розпушити ґрунт, внести добрива на глибину та підняти вологий ґрунт до горизонту посіву, можна скористатись захватами HORSCH LD або LS+, які відомі своєю зносостійкістю та довговічністю.

Конструкція поперечної планки, встановлена перед висівними сошниками, створює невеликі гряди на легкому ґрунті, а також видаляє пожнивні залишки з борозен.

TurboDisc, добре відомий прискорювач посіву третього покоління, і TurboEdge – це два доступних висівних сошника. Анкерний сошник TurboEdge використовується для видалення пожнивних решток із насіннєвої борозни. Таким чином, можна висівати ріпак чи сидерати в стерню з точністю на невеликій глибині.

Широка та обтічна платформа дозволяє швидко та безпечно заповнювати бункер. Поєднання багатьох робочих процесів підвищує продуктивність сільськогосподарського підприємства, зменшує витрати та підвищує ефективність його роботи в усьому світі.

Рисунок 1.3 – Лапа HORSCH LD+

Рисунок 1.4 – Лапа HORSCH ULD+

Модельний ряд HORSCH Focus орієнтований на продуктивність і пропонує опцію індивідуального обладнання. Через посушливі періоди останніх років спостерігається зростання інтересу до технології Strip Till, Особливо ця технологія відпрацьована при вирощування ріпаку вирощується в країнах Східної Європи. Внесення добрив на глибину та мінімальний обробіток ґрунту, що зменшує випаровування вологи, сприяє покращенню розвитку кореневої системи, що забезпечує високі врожаї. HORSCH Focus довів, що є цінним інструментом для фермерів, оскільки він зменшує потребу в робочих проходах і робочій силі, а також заощаджує витрати. Це неодноразово підтверджено. У роки з обмеженою кількістю опадів посіви ріпаку особливо стабільні. Ефективність підвищується завдяки використанню єдиного робочого проходу для всіх процесів, включаючи розпушування ґрунту, внесення добрив, ущільнення та посів. Посівні сошники HORSCH TurboEdge можуть видаляти пожнивні рештки з посівної борозни та точно розміщувати ріпак у призначеному місці. Незалежні підвіски та опорні анкерні сошники на притискних роликах точно імітують поверхню поля для оптимального позиціонування кожної насінини. Незважаючи на наявність великих пожнивних решток, подвійний ряд лап і широкі шини HORSCH Focus забезпечує якісну роботу в широкому діапазонв.

Для допомоги в процесі посіву ріпаку були розроблені додаткові інструменти, такі як MiniDrill HORSCH і третій бункер, який подвоює ефективність Focus і економить ще один робочий прохід для внесення інсектицидів. Використовуючи 400-літровий ківш MiniDrill з насінням ріпаку, можна додавати мінеральні добрива в інші дві секції цього великого бункера (2000 і 3000) без пошкоджень. Застосування цієї техніки зменшує час простою машини та забезпечує ефективний посів. HORSCH MiniDrill та інше обладнання було розроблено спеціально для Focus із

третім бункером, який подвоює продуктивність цієї машини та економить ще один робочий прохід для внесення інсектицидів.

Focus 7 MT ідеально підходить для великих виробників сільськогосподарських культур, які використовують технологію Strip Till. Причіпні бункери серій 12000TH, 17000TH і 21000THER можуть перевозити до 21 000 літрів добрив і насіння. Це дозволяє обробляти численні гектари з мінімальними перервами. Завдяки масивній рамі та міцній конструкції Focus 7 MT водночас надійний і довговічний. Диски Focus TD оснащені 2-рядною DiscSystem, тоді як інші два мають менші розміри дисків 68 см. Дискова борона спеціально розроблена для зрізання та змішування великої кількості пожнивних решток.

Рисунок 1.5 - Focus 7 MT з котком RingFlex для адресного внесення добрив до 500 кг/га

Focus 7 MT має два принципово несхожих варіанти оснащення. Досягнення процесу розпушування ґрунту проводиться в глибокій смузі з подальшим цілеспрямованим внесенням добрив до 500 кг/га як

альтернативу. На відміну від Variant 1, який використовує сошники TurboDisc або TurboEdge для одночасного висіву, Variante 2 серії Focus MT використовує традиційний метод обробки ґрунту та внесення добрив свого попередника, серії Fokus TD.SW 17003 має три секції для додавання трьох окремих компонентів.

Незважаючи на збільшену довжину агрегату, Focus MT має відмінні можливості повороту – він забезпечує хороший контроль на розворотах. Focus 7 MT може похвалитися широким набором варіантів обладнання, включаючи ролики. На даний момент доступні два варіанти: колесовий ролик або ролик ringflex. Щоб переконатися, що кожен сошник працює в ідентичних умовах, необхідно використовувати колісний коток у поєднанні з заднім висівним сошником. Для підвищення родючості ґрунту коток RingFlex — це компактний коток, який можна використовувати разом із добривами. Його функція самоочищення дозволяє використовувати цей ролик навіть у дуже вологих умовах.

Усі бункери HORSCH можна використовувати з Focus 7 MT. Завдяки місткості від 12 000 до 21 000 л, розділених на дві або три секції для оптимального розподілу компонентів, вони задовольнять потреби всіх фермерів. Незважаючи на те, що агрегат має довжину, причіпний бункер HORSCH і Focus 7 (MT) забезпечують чудову маневреність під час несподіваних розворотів.

1.2 Особливості зношування та формоутворення в процесі експлуатації робочих органів

Серед різноманітних засобів механізації сільськогосподарського виробництва найбільше поширення набули розпушувачі та культиватори, головне призначення яких — розпушування та знищення бур’янів під час передпосівного обробітку ґрунту та догляду за паровими рослинами [1, 2] Найбільше поширення в агропромисловому комплексі України отримали культиватори для міжрядного та суцільного обробітку ґрунту, обладнані

робочими органами. Домінуючим типом є стрілчасті лапи, робочі органи яких дотримуються ГСТ 23.2.164-88 «Лапи і стійки культиваторні». Ця функція має кілька ключових параметрів. Стандарт визначає 21 різний розмір універсальних типорозмірів. Культиватори для суцільного обробітку грунту типу КПС 4 оснащені шириною захвату 270 і 330 мм, встановлені в два ряди за певною схемою з перекриттям. Культиватори мають глибину протектора 0,06 і 0,15 метра. Лезо у формі стріли без помітних особливостей є найосновнішою конструкцією (див. рис. 1.6). Однією з головних переваг цієї лапи є її можливість виготовляти з листового прокату і низька вартість виробництва, що також є перевагою.

Рисунок 1.6 – Загальний вигляд долота глибокорозпушувача (а) та лапи культиватора (б)

Лапа культиватора та долото глибокорозпушувача – це інструменти для обробки ґрунту, які мають різні застосування та конструкційні особливості. Лапа культиватора, зазвичай, використовується для розпушування верхнього шару ґрунту. Вона добре справляється з рослинними рештками та налипанням ґрунту і може мати різні форми – пружинні лапи для розпушування ґрунту з твердим груддям і камінням або долотоподібні лапи для щільних ґрунтів. Долото глибокорозпушувача призначене для проникнення на більшу глибину, щоб прорвати ущільнений шар ґрунту, який може перешкоджати просочуванню води. Це дозволяє покращувати водний режим ґрунту та сприяє зростанню рослин, оскільки насіння не замокає і не гниє, що збільшує врожайність.

Таким чином, лапа культиватора ефективна для поверхневого розпушування, тоді як долото глибокорозпушувача використовується для глибокого розпушування та поліпшення водопроникності ґрунту.

Ширина захвату лап визначається схемою розташування рами культиватора і типом обробітку ґрунту (суцільний або міжрядний), а також умовами ґрунту, що дозволяють проводити заглиблення та розпушування. Міцність лапи визначає максимальну ширину захоплення, яка визначається товщиною виготовлення. Поточні стандарти [3, 4] диктують, що стандартні розміри лап визначаються з використанням кута відхилення $2\gamma = 65^{o}$; кут кришення $\beta = 28^{o}$. Товщина матеріалу визначається вимогами до лап щодо міцності, їх функціональності та ширини захвата.

Технічні умови передбачають, що ріжуча кромка може бути створена зі зносостійкого матеріалу та повинна мати твердість 44-45 HRC, в той же час незагартована частина має витримувати знакозмінні навантаження, тому її твердість обмежується 352 НВ.

Після заточування товщина леза не повинна перевищувати 0,3 мм [10]. Для забезпечення саморегулювання під час роботи лапи культиватора оснащені двошаровими лезами, виготовленими з міцного матеріалу, наприклад Сормат1, який приварений до основного матеріалу потиличної сторони. Так само наплавлений шар повинен бути в межах 0,35-0,4 мм. Незважаючи на відсутність регулювання твердості наплавленого шару, товщина ріжучої кромки для цих видів лап не повинна перевищувати 0,5мм. Лезо заточується з боку основного металу лапи до наплавленого шару. Мінімальна гострота леза по кромці 2 мм і мінімальна заточка не більше, нерівності ріжучої кромки по висоті не більше. ніж 0,4. Тріщини в основному металі не допускаються.

Стандарти не визначають склад твердого сплаву для наплавлення, але визначають вимоги для роботи на одній ділянці – не менше 30 га. Для розмірів 270, а також 330 мм термін служби складає 15 га. Умови роботи глибокорозпушувачів та культиваторів характеризуються високими

навантаженнями на робочі органи, що зумовлює значний питомий (знос) через високий тис та абразивний знос. Тиск на їх поверхні тертя (0,6-0,8 МПа) [16]. З часом змінюється також форма лап та їх геометричні параметри. Через знос кромки (рис. 1.7) суттєво підвищується тяговий опір робочих органів за рахунок посиленого спрацьовування та подальшої зміни радіуса на кінчику культиваторних лап за рахунок максимального тиску ґрунту в цій зоні .

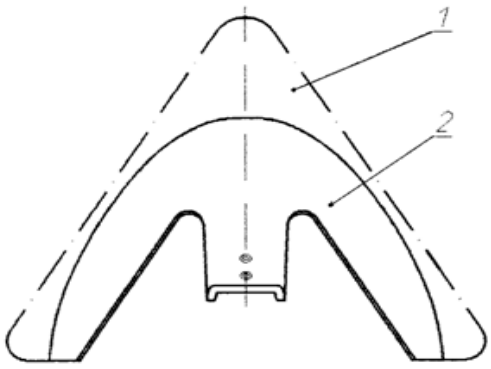


Рис. 1.7. Форма профілю зношеної лапи: 1 – нова; 2 – після 50 га експлуатації

Культиватори досягають граничного стану в процесі експлуатації. Такий стан можна визначити за такими критеріями: підвищена гострота леза, формування широкої потиличної фаски, неповне зрізання рослин, рух на основі глибини та підвищення тягового опору.

Дослідження показують, що ріжуча кромка для чорноземів середньостепової зони не повинна перевищувати 0,8 мм при швидкості руху агрегату до 2,7 м/с і в межах 0,8-1,0 мм при більших швидкостях. Значення можна збільшити до 1,4 мм. коли основною метою обробки є збереження верхнього шару ґрунту в пухкому стані з незначною кількістю бур’янів.

За даними аналізу натурних випробувань, ресурс визначається умовами експлуатації і становить до 15-30 га на робочий орган. Після експлуатації лінійний знос леза може досягати в середньому 2-5 мм.

Стрілчасті лапи в середній частині зменшені до 36-38 мм вибраковуються. При зменшенні цих розмірів відбувається значне зниження міцності та деформація лап, що неприпустимо з точки зору надійності та збільшення опору ґрунту. Коли носок зазнає лінійного зносу до 30 мм міліметрів, стійка та кріплення зношуються також інтенсивніше. Основні фактори, які сприяють виходу лапи культиватора з ладу та є критичними для прийняття рішення про подальшу експлуатацію: зменшення ширини захвату, знос хвостовика та утворення тріщини. На інтенсивність зношування впливають різні фактори, в тому числі спосіб зношування, абразивні характеристики ґрунту та властивості зношування поверхні, які зумовлені термічною обробкою, складом матеріалу. Усі ці фактори впливають на процес абразивного зношування. Зміна розмірів і форми робочих поверхонь часто знижує працездатність робочих органів культиваторів. Міцність, техніко-економічні фактори визначають максимальний допуск на знос лап культиватора.

Складний і неоднозначний зв’язок існує між тиском ґрунту, пов’язаним з зносом, на окремі ділянки робочих органів, як зазначено в [58]. Залежність визначається значною мірою типом використовуваного ґрунту. Залежно від типу ґрунту (ґрунту) зафіксовано тиск 16-132 МПа на носок культиватора.

Підвищений тяговий опір є результатом зносу лап культиватора, особливо при роботі з ножами. Дослідженням [15] встановлено, що питомий тяговий опір лап культиватора зростає із збільшенням товщини їх леза в процесі зношування. Навіть якщо культиватор рухається з більшою швидкістю, така закономірність залишається постійною.

Дослідження конструкцій лап культиватора, їх зношування та формування під час використання показують, що пошукові дослідження можуть бути використані для вибору матеріалів, які максимізують ефективність використання ресурсів при мінімізації витрат енергії на роботу.

1.3 Ґрунт як джерело абразивного зношування робочих органів сільськогосподарських машин

Зношеність робочих органів значною мірою визначається абразивної здатності ґрунтів. У контексті трибосистеми необхідно враховувати полідисперсність ґрунту, яка включає тверду речовину на додаток до води та повітря. Фізико-механічні властивості грунтів визначаються гумусом, органічними включеннями в рослинах і мінеральною фракцією, що утворюють тверду фазу.

За словами Н. А. Качинського, класифікація ґрунтів за їх механічним складом широко використовується в наукових дослідженнях, пов’язаних із взаємодією робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь з ґрунтом. Автор рекомендував класифікувати ґрунти як «фізичну глину» (частинки діаметром 0,01 міліметра) або «фізичний пісок». Крім того, ґрунти класифікуються за ступенем кам’янистості. Враховується кількість кам’янистої, піщаної, крупно-пилової, пилової та мулової фракцій, що знаходяться у ґрунті.

Зношення робочих кромок в першу чергу викликано механічним складом ґрунту та вологістю ґрунту, які, як відомо, мають абразивний характер. Завдяки наявності в їх складі кварцу, який має твердість 9000. 11000 МПа та інших включень піщані ґрунти сильно схильні до затирання. На абразивні властивості грунту впливає його вологість. Чим більш вологими є глинистий та суглинистий ґрунти, тим менший абразивний вплив він має. Підвищення абразивності пояснюється підвищеним тиском ґрунту на робочу поверхню лапи, а також здатністю частинок сухого піску ковзати та перекочуватися по тілу.

Фізичні характеристики ґрунту, такі як вологість, мають вирішальне значення для визначення зносу функціонуючих органів. Цим фактором визначається ступінь його придатності до механічної обробки. Щоб забезпечити високий рівень якості розпушування, мінімальне споживання

енергії під час роботи агрегату та мінімальний знос ґрунтообробного обладнання, рівень вологості ґрунту має бути в межах норми. Дослідження виявили, що фізична стиглисть ґрунту є змінною величиною. Чим більша швидкість руху ґрунтообробного агрегату, тим більша фізична стиглість цього ґрунту. Обробіток вологого ґрунту призводить до засмічення робочих органів рослинними рештками, що може призвести до перевитрати палива та нехтування агротехнічними нормами. Механічний склад ґрунту відіграє певну роль у визначенні строків і способу обробітку.

Традиційно для моделювання процесів абразивного зношування використовують чистий кварцовий пісок фракцією 0,25-0,30 мм і десятивідсотковою вологістю.

Еталонний абразив використовувався В. В. Новіков у своїй роботі по визначенню зносостійкості зразків [15]. За стандарт дослідник взяв частинки кварцу розміром 0,16-0,32 мкм та відносною вологістю 1%. Вивчення літературних джерел щодо зносостійкості ґрунтів показує, що вони зазнають трансформацій у широких межах, без жодного математичного пояснення їх зносостійкості. Специфічний тиск і абразивні властивості ґрунту не є єдиними визначальними факторами того, наскільки легко зношуються робочі органи ґрунтообробних машин, зокрема глибокорозпушувачів та культиваторів.

Більшість мінеральних частинок у ґрунті круглі, але деякі мають гострі краї та виступи, які можуть пошкодити робочі поверхні культиваторів. Коли ґрунт рухається відносно своїх робочих поверхонь або частинок ґрунту, він проявляє характеристики тертя (тертя). Коли абразивни частки ковзають, виникає сила тертя, яка діє так, ніби об'єкт рухається, але вона спрямована в протилежний бік відносної швидкості руху. Значна частина наукових досліджень [17] зосереджена на впливі абразивного тертя ґрунту на сталь. Такий вплив змінюється зі зміною механічного складу ґрунту (коефіцієнт тертя в глинистому ґрунті майже вдвічі вищий, ніж у піщаному).

Коефіцієнт тертя ґрунту значною мірою визначається вмістом вологи в ґрунті. Підвищення вологості на поверхні ковзання до 0,1 МПа призводить до посилення тертя, а потім при додатковому зволоженні коефіцієнт тертя зменшується. Встановлено, чим більша твердість ґрунту, тим більша зношуваність за рахунок збільшення тиску в зоні контакту та площі поверхні робочого органу. В той же час, дослідження показують, що інтенсивність зносу зростає до свого піку при певних рівнях вологості ґрунту, а потім зменшується. Експериментальні дані показують, що значне зниження твердості ґрунту та чутливості до зносу може відбутися, коли вміст вологи збільшується від 0 до 56%. У 3,5-4 рази більший ступінь зносу викликає підвищення вологості від 6 до 12%. При цьому кількість часток, закріплених ґрунтовою масою, збільшується на 30-40% порівняно з тими, що мають лише 5% вологи. Підвищення вологості ґрунту призводить до значного зниження його твердості та зносостійкості. Водночас на зношеній поверхні виявлено ознаки корозії.

Дослідження абразивних факторів у ґрунтовому середовищі під час взаємодії з робочими органами обробітку ґрунту підкреслює важливість врахування цих факторів при створенні нових матеріалів та дослідженні процесів взаємодії та зношування в цій спеціалізованій трибологічній системі.

1.3 Обґрунтовування вибору матеріалів і технологічних способів підвищення зносостійкості

Довговічність і надійність долота та лапи культиватора залежать, в першу чергу, від матеріалу, способу обробки, зміцнення і конструкційної міцності, тобто від комплексу всіх характеристик міцності, які впливають на експлуатаційні властивості виробу.

Існує багато видів термічної обробки долота та лапи культиватора – від загартовування робочої частини ножа в соляних ваннах з охолодженням в індустріальному мастилі до високотехнологічних.

Широке коло дослідників пропонувало свої рішення для підвищення стійкості в експлуатації цих виробів. Досліджено експлуатаційні властивості сталей У8, 40Х та сталі 36Г2СР. Для найбільш поширеної марки сталі У8, (рідше сталі 40Х) застосовували гартування і низький відпуск (200°С) на твердість 56…58 HRC. Зносостійкість підвищувалася при подвійному відпуску.

Запропонована науковцями сталь 36Г2СР входить до групи найкращих зносостійких сталей цього класу при досить низькій собівартості та застосовується для виготовлення різальних елементів землерийних машин сільськогосподарського призначення. Подвійний відпуск збільшує термін працездатності у 1,3…2 рази за рахунок підвищення зносостійкості. Найкращі показники були у виробів зі сталей 36Г2СР та У8. Найсприятливіші режими подвійного відпуску для сталі У8: + 200°С + 200°С та + 200°С + 350°С; для сталі 36Г2СР: + 200°С + 350°С; та для сталі 40Х: + 200°С + 200°С.

Над питанням поліпшення показників надійності виробів за рахунок підвищення їх довговічності та зносостійкості працювало ряд науковців [8 – 12]. З метою збереження гостроти ріжучих кромок в процесі експлуатації використовувалися різні зносостійкі покриття: електроіскрове легування сплавом Т15К6; газове і термодифузійне хромування; електролізне і дифузійне борірування; іонна азотизація; вакуумно-плазмові технології та ін.

Проводили легування робочих площин електродами з твердосплавних матеріалів Т15К6 та ВК8, а не зміцнена сторона – фрезерувалася. Час експлуатації зміцнених виробів в лабораторних умовах в порівнянні з контрольними збільшився в 4 – 6 разів.

Встановлено, що зміцнення електроіскровим легуванням дозволяє збільшити в чотири рази працездатність і зносостійкість виробів і поліпшити якісні характеристики параметрів агротехнології. Електроіскрове легування сплавами ВК6 і ВК8 задньої поверхні виробу

забезпечує стійке самозаточування леза за рахунок переважного зношування його передньої поверхні.

Проводились також дослідження особливостей зносу виробів із сталі У8А і зміцнених дифузними покриттями на основі бору і електроіскровим легуванням сплавом Т15К6. Процеси борірування, бороміднення та борохромування проводили при температурі 925°С протягом двох годин. Товщина зміцненого дифузійного шару 40…60 мкм. Мікротвердість покриттів складала: борідного – 14700…18600 МПа, боромідного – 14200…15300 МПа та борохромового – 16700…21500 МПа.

Електроіскрове легування сплавом Т15К6 проводили на установці ЕФІ-46А. Товщина легованого шару склала 30…40 мкм, а мікротвердість 11800…14700 МПа. Заточування виробів проводили після хіміко-термічної обробки, тобто зміцнений шар зберігався тільки на задній поверхні. Дифузні покриття на основі бору перешкоджають зношуванню задньої поверхні, але не забезпечують гостроту ріжучої кромки.

У виробів з боромідним покриттям спостерігається деяке загострення ріжучої кромки за рахунок переважного зношування передньої поверхні, але воно нестійке. Під впливом ударних навантажень, що виникають при експлуатації, виступаюча кромка покриття обломлюється і гострота кромки різко погіршується. Борідні та борохромові покриття менш пластичні, ніж боромідні. Ріжучі кромки виробів з такими покриттями починали обломлюватися вже в перші години експлуатації. З іншої сторони широке використовування цих методів стримується дорожнечею матеріалів і устаткування. Та й наносити перераховані покриття недостатньо ефективно через необхідність нагріву виробів до високих температур і нестабільності геометрії після обробки. Необхідна гострота ріжучої кромки, що забезпечує її самозаточування, досягається при товщині поверхневого загартованого шару не більше $(2…3)\cdot10^{-5}$ м. Мікротвердість HV при цьому не повинна перевищувати $(10,8…11,8)\cdot10^{3}$ МПа, бо при високій твердості може бути крихке руйнування різальної

кромки. В середньому вироби з поверхневим гартуванням і «м'якою» серцевиною ефективно працювали у 1,5 рази довше ніж традиційні, тобто метод достатньо ефективний.

Плазмова обробка підвищує експлуатаційну стійкість та сприяє підвищенню стійкості сталі до утворення тріщин (випадки руйнування через тріщиноутворення практично не спостерігаються). Метал зміцненої зони з високодисперсною структурою і високою в'язкістю руйнування не схильний до утворення шліфувальних тріщин і не втрачає свої властивості при заточуванні і шліфуванні. Крім того, відбувається самозаточування, яке пояснюється різною зносостійкістю металу по перерізу ребра, внаслідок чого швидкість зносу однієї поверхні більше швидкості зносу іншої поверхні. При цьому більше зносостійкий шар утворює лезо необхідної гостроти.

Встановлено що час експлуатації підданих плазмовій обробці виробів збільшився в три рази більше за традиційний. Слід зазначити, що знос виробів із сталі 65Г, до зняття з експлуатації, істотно менший, ніж знос ножів із сталі У8.

Загальновідоме поверхневе загартовування СВЧ [14] високопродуктивне, легко автоматизується, підвищує механічні властивості виробів, але допускає деформацію та короблення ріжучої частини.

На сьогодні достатньо відомі способи підвищення зносостійкості виробів із загартованих інструментальних сталей за рахунок застосування потужної лазерної обробки в роботах Коваленко В.С. та ін. [17 – 18] Перевагою такого методу – лазерна обробка дозволяє отримати ультра-дрібнозернистий матеріал залишково-аустенітної структури підвищеної ударної в'язкості, виключає короблення робочої поверхні, тобто забезпечує чітке дотримання складної конфігурації, та сприяє збільшенню гостроти ріжучої кромки. Недоліком застосування такого методу є залишкові субмілкі тріщини на поверхні інструмента, які призводять до

поступового підвищення швидкості зносу виробів.

Відомі також способи підвищення стійкості виробів із інструментальних сталей шляхом застосування хіміко-термічної їх обробки, плазмового напилення нітриду та карбонітриду титану [19].

Катодно-дугове осадження активно використовується для синтезу на поверхні з застосуванням твердих зносостійких і захисних покриттів, що значно подовжують термін його служби. За допомогою цієї технології може бути синтезований широкий спектр надтвердих і нанокомпозитних покриттів, включаючи TiN, TiAlN, CrN, ZrN, AlCrTiN і TiAlSiN.

Нітрид титану – бінарну хімічну сполуку титану з азотом (від 14,8 до 22,6 % азоту по масі) можна отримати жовто-коричневого або золотистого кольору.

Дифузійне насичення тугоплавкими металами із парів – спосіб нанесення поверхневого шару з простих та складних оксидів алюмінію, хрому та ін. на вироби з металів [10]. При цьому методі виникає ефект «заліковування» мікротріщин і дефектів, одержаних при заточуванні виробів абразивними і кубонітовими кругами, підвищуються тріботехнічні та механічні властивості робочих поверхонь, але зберігається основа будови крупнозернистих інструментальних сталей, що призводить до підвищення зносу, особливо для тонких робочих поверхонь.

Зміцнення тугоплавкими металами (шляхом дифузійного насичення із алюмохромофосфатного зв'язуючого), призводить до «заліковування» тріщин та інших дефектів, одержаних при виготовленні (фрезеруванні) та заточуванні виробів кубонітовими кругами, збільшує зносостійкість, корозійну стійкість, зменшує шорсткість.

Підвищення експлуатаційної стійкості виробів пов'язано з поліпшенням якості металу, забезпеченням підвищеного опору його руйнуванню та підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Якість виробів визначається, перш за все, зносостійкістю, корозійною стійкістю, ударною в’язкістю поверхонь робочої частини,

чітким дотриманням конфігурації, гостротою різальної кромки в процесі експлуатації, малою схильністю до заїдань та ін. Проведене дослідження способів підвищення зносостійкості виробів дало можливість скласти їх класифікацію, що представлена на рис. 1.17.

Рис. 1.17. Класифікація способів підвищення зносостійкості ножів

Оптимальні умови роботи органу ґрунтообробних машин слід вибирати з огляду на використовуваний матеріал. У рекомендаціях [12, 13] враховуються напружений стан, зовнішні чинники тертя, температурні діапазони та фізичні характеристики абразивного середовища, що взаємодіє з робочими елементами машини. За даними деяких авторів [8, 14], рекомендується використовувати матеріали з карбідними класами сталей високої твердості, леговані високохромисті чавуни з додаванням марганцю і вольфраму, а також різні композиції для наплавлення. Використання сталей і чавунів зі структурою карбіду аустеніту, який є

нестабільним і може зазнавати мартенситних перетворень при терті, пропонується також іншими авторами. Через те, що твердість пов’язана з підвищеною крихкістю, використання таких матеріалів, як високолегована вуглецева сталь, обмежена. Особливо важливими у випадку експлуатації таких виробів є умови динамічних навантажень, що призводять до об’ємного руйнування [15].

Збільшення наявності в робочих органах зарубіжних виробників більш стійких до зносу сталей призводить до підвищення довговічності їх експлуатації. Широко використовується сталь 28MnB5. Двома перпендикулярними валками прокатують сталевий лист для виготовлення робочих органів, який проходить комплексну термічну та дробеструменеву обробки. Вартість цих робочих органів у 2,0-2,3 рази дорожча за вітчизняні, а зносостійкість у них на 20-30% більша. Враховуючи сезонність експлуатації культиватора, використання високоякісних металів і сплавів з високою зносостійкістю недоцільно з економічних причин. Отже, для вирішення цієї проблеми для культиваційних лап слід розглянути методи зміцнення, у тому числі ті, що розроблені на регіональному рівні.

В теперішній час до 90% робіт зі зміцнення робочих поверхонь у сільськогосподарському машинобудуванні виконується індукційним наплавленням [11]. Для індукційного наплавлення потрібні сплави, що мають мінімальний магнітопроникний стан і температура плавлення яких повинна бути на 150-200°С нижче температури плавлення основного металу. Гранульований порошок Сормайт № 1, та ФБХ-6-2 відноситься до типів сплавів, що мають високі абразивну стійкість та можливість зварювання. Останніми роками все більшої популярності набули технологічні процеси зміцнення потокамиконцентрованої енергії, завдяки яким отримують робочі поверхні з високими показниками твердості [8, 15]. Широке застосування таких матеріалів обмежене тільки економічними

критеріями, адже до їх складу входять вартністні карбіди вольфраму та ванадію.

Для підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів рекомендується використовувати не тільки високоміцні сталі, але й шукати нові конструктивні рішення із застосуванням зміцнюючих зносостійких сплавів. На першому етапі конструктивних параметрів зміцнення необхідно врахувати розташування та форму робочих органів, матеріал, коефіцієнти зносостійкості між основою та нанесеним покриттям, товщину як основи, так і покриттів, кут заточування [14, 18]. Будь-які методи, які можна застосувати, щоб зробити ґрунтообробні знаряддя більш стійкими, призначені для збереження їх початкової геометричної форми, що важливо для ефективного функціонування сільськогосподарської техніки. Останні наукові відкриття підтвердили ефективність цієї стратегії щодо підвищення витривалості робочих органів глибокорозпушувачів та культиваторів.

Збереження геометрії лапи пропонується деякими дослідниками з використанням диференційованого зміцнюючого композитного покриття, яке передбачає зміну концентрації керамічного наповнювача вздовж ріжучої кромки цього покриття. Під час експлуатаційних випробувань дослідних лап відмічено, що вони здатні збільшити свою довговічність у 1,45 рази при гарантованому напрацюванні 32 га і лише незначно знизити тяговий опір після 30 кілометрів експлуатації. Ці результати забезпечуються підвищенням стійкості до зносу вздовж проміжку леза.

Використання локально зміцнених лез уздовж площини або довжини може ефективно обмежити знос ґрунтообробних машин, що призводить до збільшення довговічності.

Вплив точкового зміцнення на міцність і витривалість робочих органів досліджено в [18]. Для зміцнення основного металу порошковий дріт ПП Нп 80Х20Р3Т покритий зносостійким направляючим матеріалом. Таким чином, частини карбіду утворюють конусоподібні елементи, які

мають пружний поперечний переріз і більш тверді по відношенню до основного металу. Відношення твердості наплавленого металу до основного становить 1,5-3,0 рази. В процесі експлуатації відбувається більший знос робочих органів із слабшими ділянками основного металу і, як наслідок, формування нерівностей на площі леза. Перевагою такого типу форми є більша довжина різання та площа контакту з ґрунтом, що призводить до більшої кількості концентраторів руйнування ґрунту (у прямому лезі є лише 2). Це призводить до 20% зниження тягового опору та зменшення тиску на ґрунт. Дані випробувань свідчать про те, що зміцнені таким чином робочі органи в 1,5. 2,0 рази довговічніші за їх серійні зразки, при цьому долото розпушувача має більшу експлуатаційну стійкість - до 2,7 разів.

Висновки

Дослідження робочих органів глибокорозпушувачів та культиваторів цих фермерів показало, що найпоширенішими серійні вироби демонструють низькі ознаки зносостійкості та довговічності, що пояснюється їх конструктивними характеристиками в поєднанні з унікальним характером їх роботи в абразивному ґрунтовому середовищі.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, є обмежені знання про те, як локальне зміцнення впливає на міцність і зміну опору робочих органів. Зносостійкість виробів у абразивному ґрунтовому середовищі, ще значною мірою не вивчена. Існують протиріччя між отриманими результатами різних авторів. Тому метою роботи є підвищення довговічності долот глибокорозпушувача, на прикладі Horsch Focus 7 в умовах ТОВ Мрія “Сервіс” нанесенням зносостійких покриттів. Сформульовано завдання відповідно до поставленої мети: виконати наплавку робочих органів та провести експлуатаційні випробування долот глибокорозпушувачів.

РОЗДІЛ 1.
МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Наплавлення робочих органів сільськогосподарської техніки проводили методом Cold Mettal Transfer (рис. 2.1)

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд установки для нанесення зносостійкого покриття.

Cold Metal Transfer (CMT) – це новітній метод зварювання, який був розроблений та запатентований компанією Fronius. Цей метод використовує унікальну технологію управління дуговим процесом, що дозволяє зварювати з низьким тепловим впливом. Це особливо корисно при нанесенні покриття на тонкостінні робочі поверхні таких виробів як робоча кромка лапи культиватора. В CMT, швидкість подавання електроду (зазвичай дроту) змінюється в процесі зварювання. Коли дуга

розпалюється, електрод швидко подається вперед. Після того, як крапля розплавленого металу переходить до основного матеріалу, електрод відтягується назад (рис. 2.2). Цей процес повторюється з високою частотою.

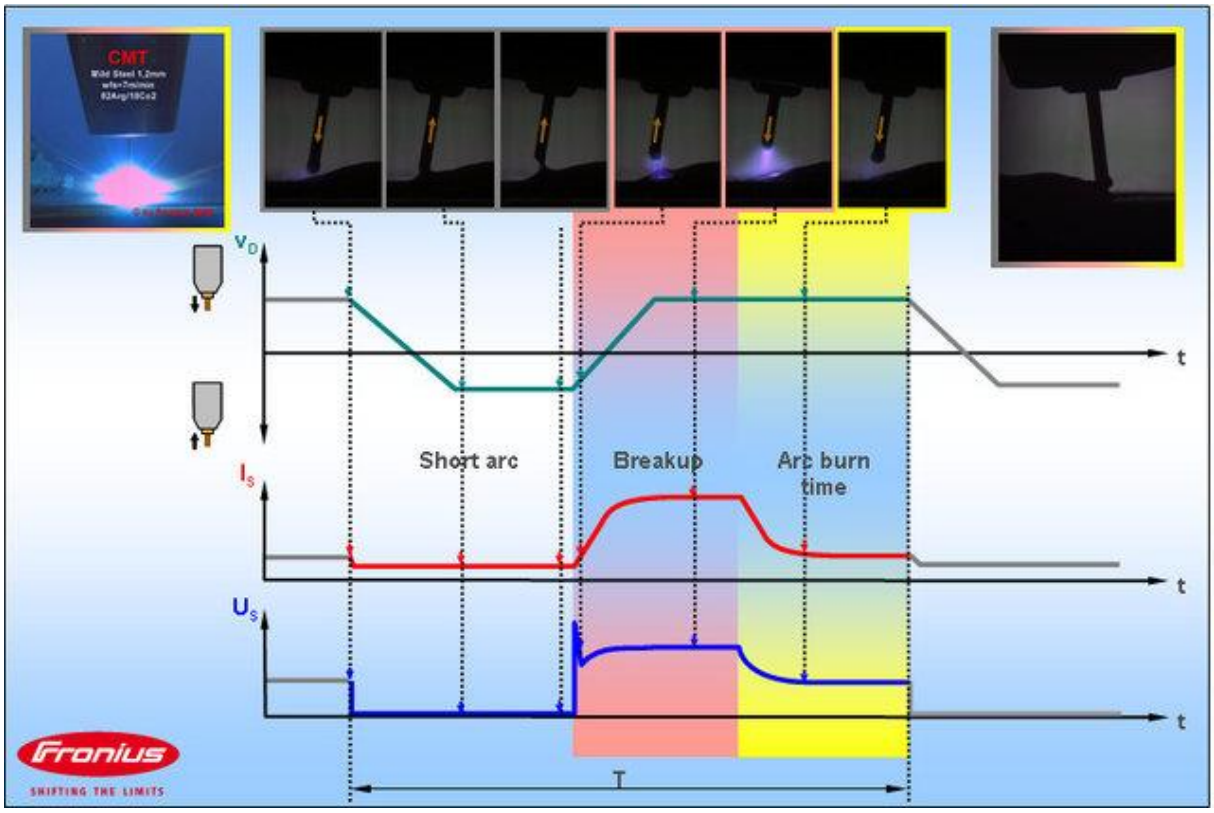


Рисунок 2.2 – Принципова схема процесу холодного зварювання

Через циклічне відтягування електроду, тепловий вплив на матеріал значно знижується. Це зменшує деформацію та зміни властивостей матеріалу в зоні зварювання. Через низький тепловий вплив, CMT ідеально підходить для зварювання чутливих матеріалів, де важливо уникнути деформації. Метод забезпечує рівномірне і чисте зварювання, з мінімальним утворенням бризг і окисленими шарами. Технологія дозволяє ефективно зварювати комбінації різних матеріалів, наприклад, алюмінію зі сталлю.

В якості зносостійкого наплавлювального дроту використовували дроти ROBOTIX 603 та ROBOTIX 6011.

Хімічний склад наплавлювального дроту ROBOTIX 603 включає в себе: вуглець (C) - 0.09%, марганець (Mn) - 0.50%, кремній (Si) - 0.20%, фосфор (P) - 0.012% та сірка (S) - 0.021%. Цей дріт використовується для зварювання в усіх положеннях і призначений для зварювання м'яких сталей, таких як A36, A283, A515 або A516. Рекомендовані параметри зварювання включають діаметр електрода та відповідну амперажність, залежно від розміру дроту. Наприклад, для дроту діаметром 3/32" рекомендована амперажність становить 70-80 А, для 1/8" - 110-130 А та для 5/32" - 130-160 А. Дріт ROBOTIX 6011 додатково містить бор, що дозволяє отримати підвищену зносостійкість матриці наплавлювального металу.

Для подальшого наплавлення деталей також розглянули можливість використання роботизованого комплекса. В якості маніпулятора використовували кобота UR-10 компанії Universal Robotics.

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд установки для нанесення зносостійкого покриття.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Підвищення довговічності долот та їх експлуатаційна стійкість

Для наплавлення використали нові долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 та лапи культиваторів. Експлуатаційні випробування проводились в умовах ТОВ Мрія “Сервіс” з нанесенням зносостійких покриттів ROBOTIX 603 та ROBOTIX 6011.

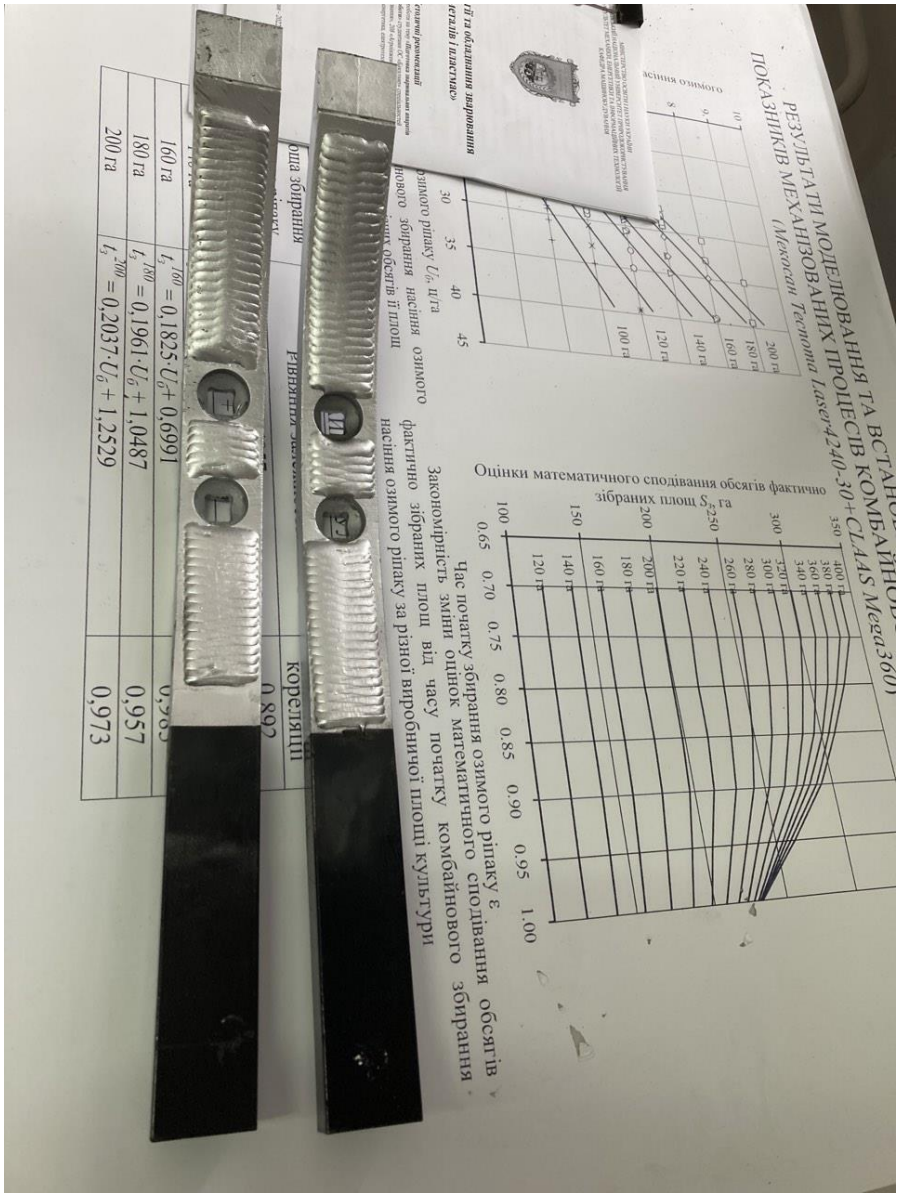


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд наплавленого долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7

Зносостійке покриття з бором ROBOTIX 6011 наплавлювали ближче до робочої кромки долота, а покриття ROBOTIX 603 на відстані (див. рис. 3.1).

Для випробувань також була наплавлена кромка лапи культиватора (рис. 3.2).

а) б)

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд наплавленої лапи культиватора Horsch: а – вигляд зверху; б – вигляд спереду

В результаті проведення експлуатаційних випробувань встановлено наступне. Для всіх зразків спостерігалось підвищення експлуатаційної стійкості.

Для лап культиватора Horsch наплавлених зносостійким покриттям ROBOTIX 6011 з бором підвищення експлуатаційної стійкості не перевищує 20-30%, що враховуючи вартість додаткових операцій нанесення покриття свідсить про необхідність змінити схему його нанесення. Запропонований спосіб наплавлення не дає можливості

сформувати ефект самозагострювання в процесі експлуатації та збільшує супротив переміщенню робочого органу.

Експлуатація долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 з нанесенням комбінованих зносостійких покриттів дозволила суттєво підвищити стійкість робочих органів – до 150-200%.

Для випробувань зміцнені долота були встановлені поряд з традиційними. Після того як традиційні вже досягли максимального зносу оцінили зношеність зміцнених робочих органів.

Рисунок 3.3 – Вигляд наплавленого долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 після експлуатації. Огляд при заміні традиційних долот.

Рисунок 3.4 – Вигляд традиційного долота після експлуатації

Надалі експлуатація наплавлених зносостійкими покриттями долот продовжилась і після зняття другої партії долот зафіксовано граничний стан зносу.

Рисунок 3.4 – Вигляд наплавленого долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 після експлуатації. Огляд при другій заміні традиційних долот.

Таким чином встановлено, що підвищити стійкість робочих органів – до 150-200% можливо з використанням наплавлювальних зносостійких дротів ROBOTIX 603 та ROBOTIX 6011, нанесених методом Cold Mettal Transfer.

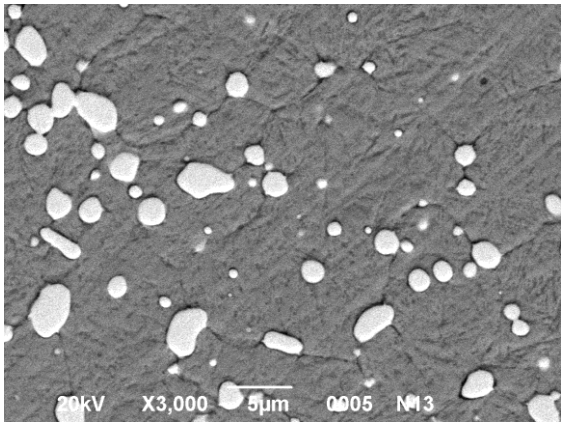
Традиційно в господарстві для підвищення довговічності використовують метод приварювання зношеної частини до існуючого долота (селективний метод). Суттєвим недоліком методу є сиокий питомий опір грунту, низька надійність рішення та невисока стійкість в експлуатації.

а)

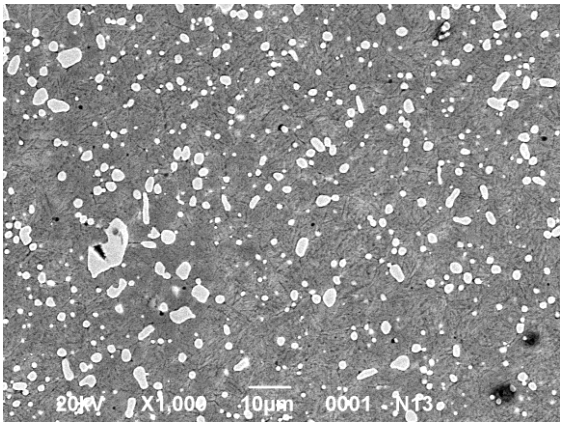
б)

Рисунок 3.5 – Вигляд долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 після приварки частини долота підібраного селективним методом

Для подальшого підвищення експлуатаційної стійкості на наш погляд ефективним є встановлення твердосплавних пластин та нанесення зносостійкого покриття з великим первинними карбідами вольфраму або бору (рис. 3.6).



а)



б)

Рисунок 3.6 Мікроструктура високолегованої сталі Р18 з великими карбідами вольфрама після термічні обробки. Зображення – растровий електронний мікроскоп.

Такі рішення відомі. Закордонні виробники пропонують зміцнені долота глибокорозпушувачів (рис. 3.7).

Рисунок 3.7 – Загальний вигляд долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 після припаювання твердосплавної пластини та нанесення зносостійкого покриття типу Сормайт 1.

а)

б)

в)

Рисунок 3.8 – Загальний вигляд долота глибокорозпушувача Horsch Focus 7 після припаювання твердосплавної пластини та нанесення зносостійкого покриття типу Сормайт 1: а – вид робочої кромки з напаяною твердосплавною пластиною; б – наплавлений шар; в – зона кріплення

3.2 Моделювання довговічності при використанні зносостійкого покриття в середовищі SolidWorks Simulation

Для твердосплавного матеріалу який поєднаний з більш пластичною основою ключовим питанням є залишкові напруження, що виникають при виробництві та їх можливий вплив на експлуатаційну стійкість. Якщо в процесі виготовлення виникають суттєві напруження – ресурс долота буде суттєво знижений. Для встановлення рявня таких напружень провели моделювання.

Для цього була запропонована модель у вигляді циліндра з внутрішнім стрижнем – основним матеріалом долота, а зовнішній шар – твердосплавне покриття.

В якості оціночного критерія використовували "Damage Percentage" (Відсоток пошкодження), який в контексті розрахунків на довговічність зазвичай використовується в аналізі втоми матеріалів та конструкцій. Цей показник допомагає визначити, наскільки навантаження та повторювані цикли впливають на матеріал або конструкцію протягом часу.

Втома матеріалів - це процес поступового пошкодження матеріалу під дією повторюваних навантажень, які зазвичай нижчі за межу міцності матеріалу. Це може призвести до утворення тріщин та остаточного руйнування. Під час втомного аналізу визначається, як довго матеріал або конструкція можуть витримувати певний цикл навантаження перед появою тріщин або руйнуванням. "Damage Percentage" - це числовий показник, який відображає ступінь пошкодження, накопиченого в матеріалі або конструкції, як відсоток від критичного рівня, при якому відбудеться руйнування. Цей показник виражається як відсоток від загального допустимого пошкодження.

Показник розраховується на основі кількості циклів навантаження та їхнього впливу порівняно з загальною втомною міцністю матеріалу. Це

може включати розгляд максимального навантаження, частоти навантажень, типу матеріалу тощо.

Інтерпретація показника:

- 0% : Немає пошкоджень.
- <100%: Матеріал витримав навантаження без критичного пошкодження.
- 100%: Критичний рівень пошкодження, очікується руйнування.
- >100%: Перевищення критичного рівня, великий ризик руйнування.

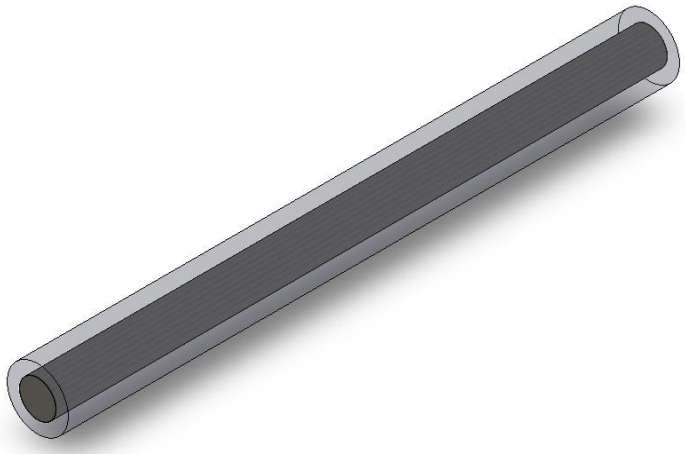
У практичному використанні, інженери та конструктори використовують "Damage Percentage" для оцінки потреби у зміцненні конструкцій, зміні дизайну або вибору іншого матеріалу для забезпечення достатньої довговічності та безпеки продукту.

Аналіз довговічності проводили з використанням SolidWorks Simulation.

На першому етапі виконали підготовку моделі (рис. 3.9).

На другому етапі обирали властивості матеріалів та їх криві довговічності (рис. 3.10)

На третьому етапі обрали статичний аналіз для моделювання навантаження та розбивки сітки кінцевих елементів (рис.3.11).



Model name: Collared Shaft Assembly
Current Configuration: Default

Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties
Boss-Extrude1	Solid Body	**Mass:4,838.05 kg** **Volume:0.628319 m^3** **Density:7,700 kg/m^3** **Weight:47,412.9 N**
Boss-Extrude1	Solid Body	**Mass:2,774.42 kg** **Volume:0.353429 m^3** **Density:7,850 kg/m^3** **Weight:27,189.3 N**

Рис.3.9. Модель що імітує нанесене покриття на похідний матеріал долота.

Material Properties

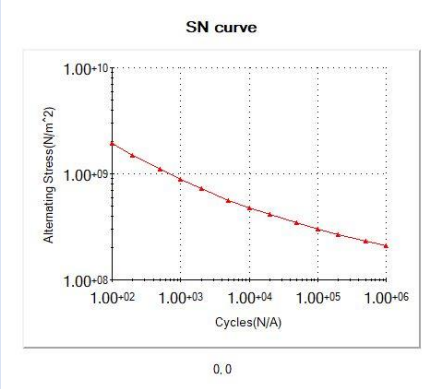
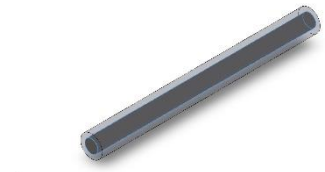
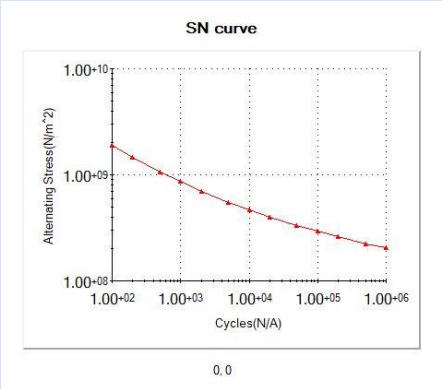
Model Reference	Properties	Compo
	Name: Alloy Steel (SS) **Model type:** Linear Elastic Isotropic **Default failure criterion:** Max von Mises Stress	SolidBody 1(Extrude1)(Sl Collar-1)
Curve Data:  SN curve		
	**Name:** AISI 1035 Steel (SS) **Model type:** Linear Elastic Isotropic **Default failure criterion:** Max von Mises Stress	SolidBody 1(Extrude1)(Sl
Curve Data:  SN curve		

Рис.3.10. Модель що імітує нанесене зносостійке покриття на похідний матеріал долота.

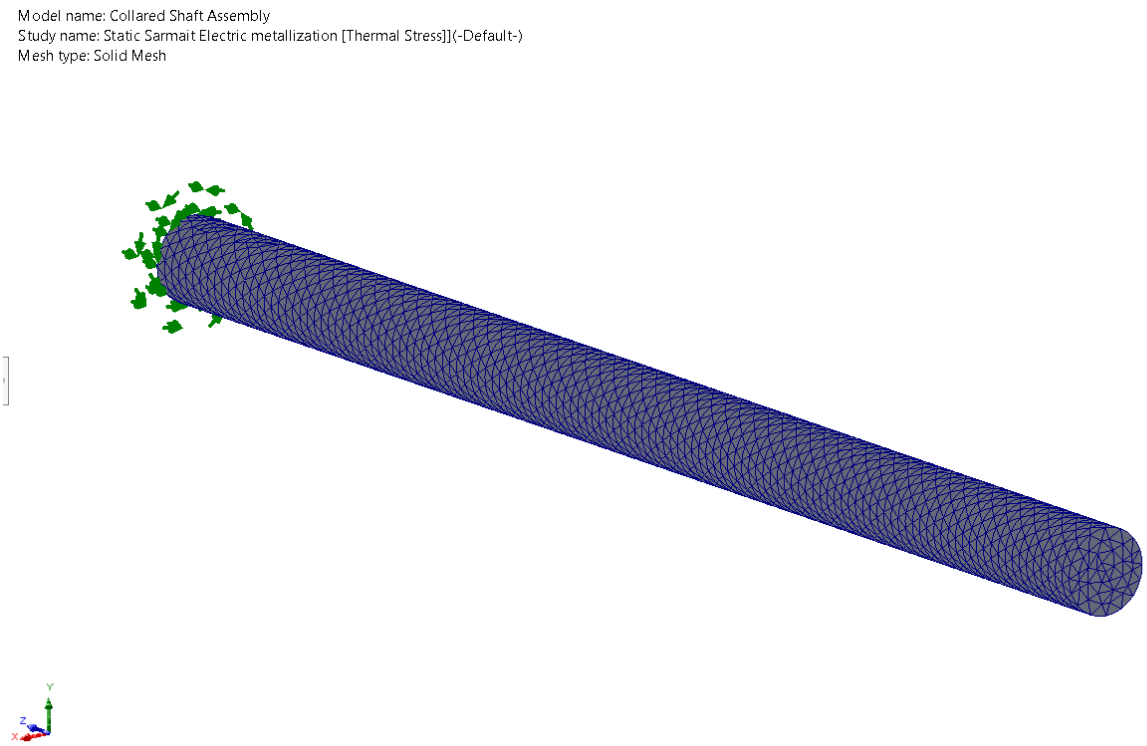
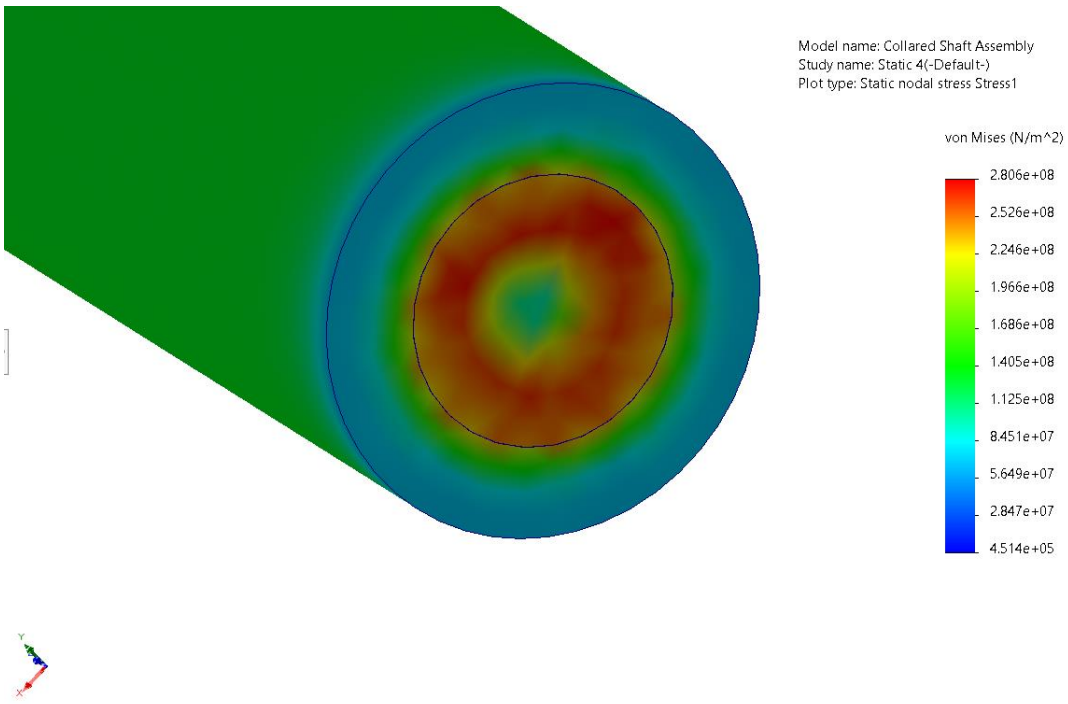
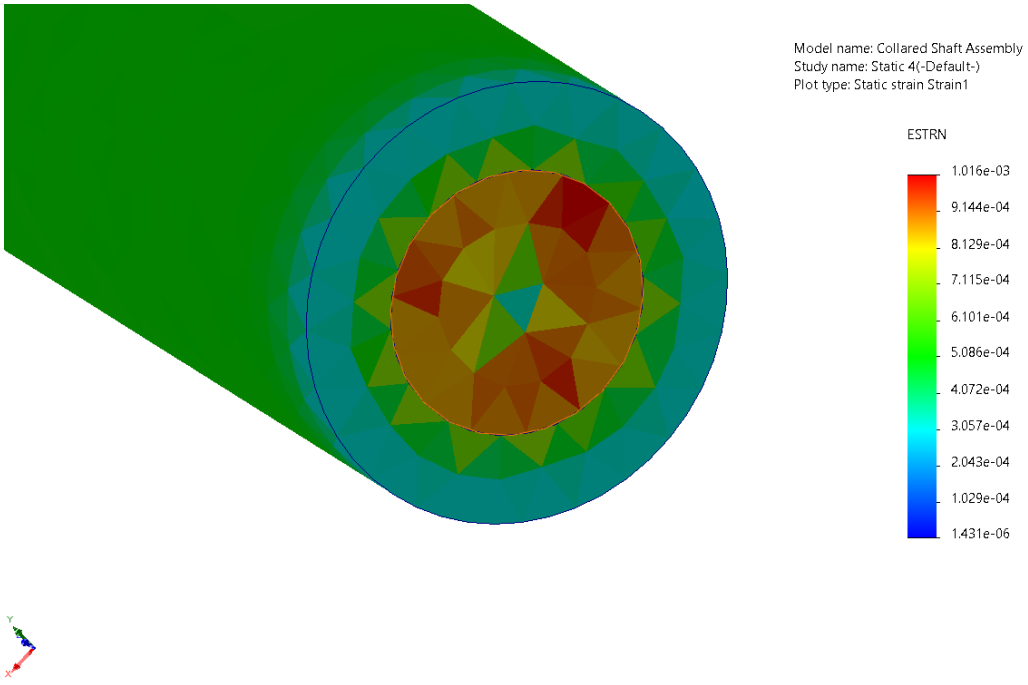


Рис.3.11. Розбивка сіткою кінцевих елементів зразка з наплавкою

Після проведення статичного аналізу виконали основний аналіз на довговічність для малоциклової втоми (1000 циклів при навантаженні збільшеному на 40%) та малоциклової області (1 млн циклів, навантаженя базове). Результати представлені на рис.

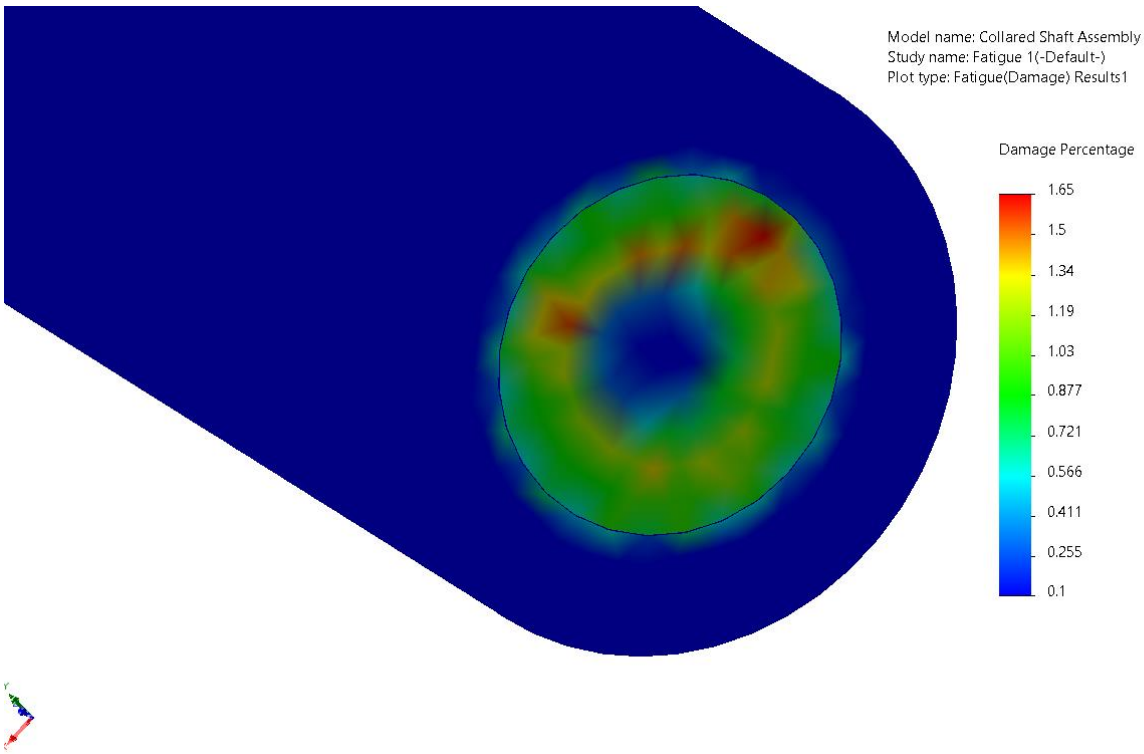


а)

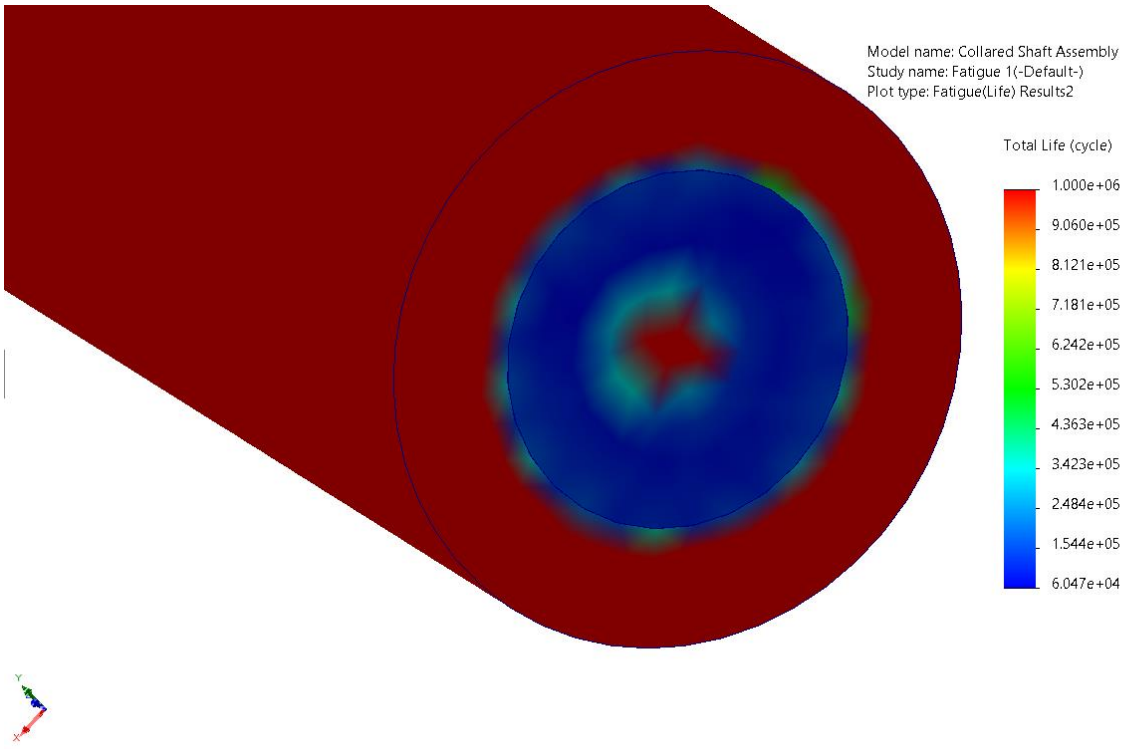


б)

Рисунок 3.12. – Малоциклова втома. Розподіл напружень, оцінених за критерієм Мізеса модельного зразка та відносне подовження при навантаженні, оцінені в межах статичного аналізу

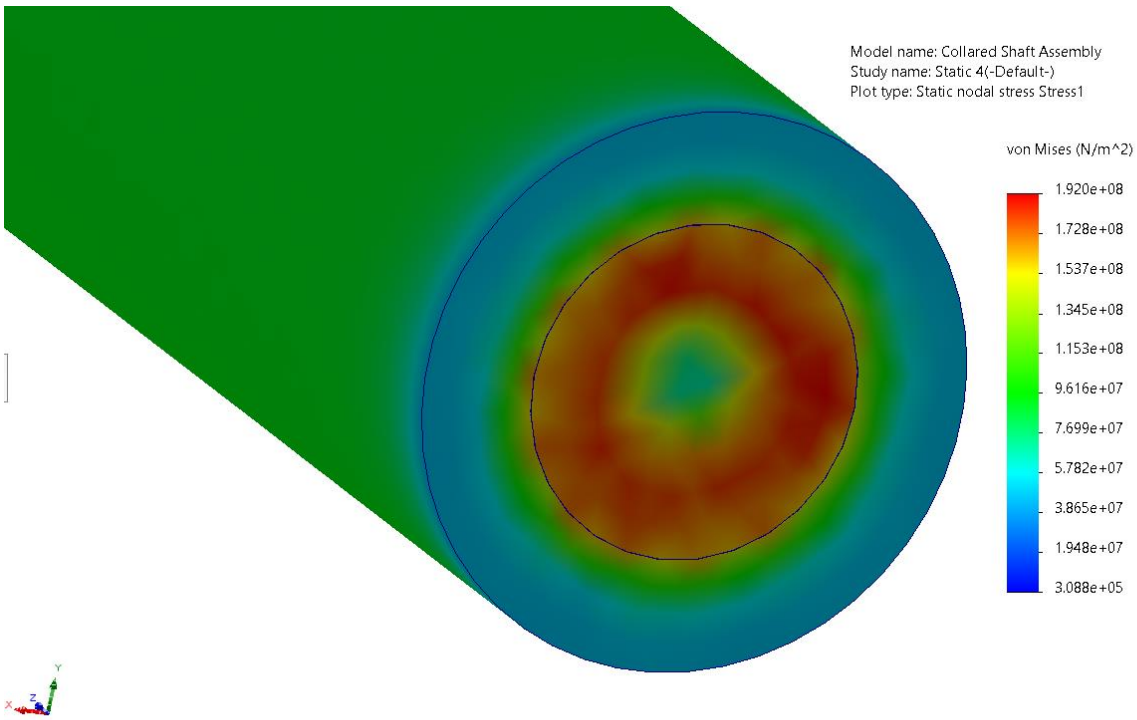


а)

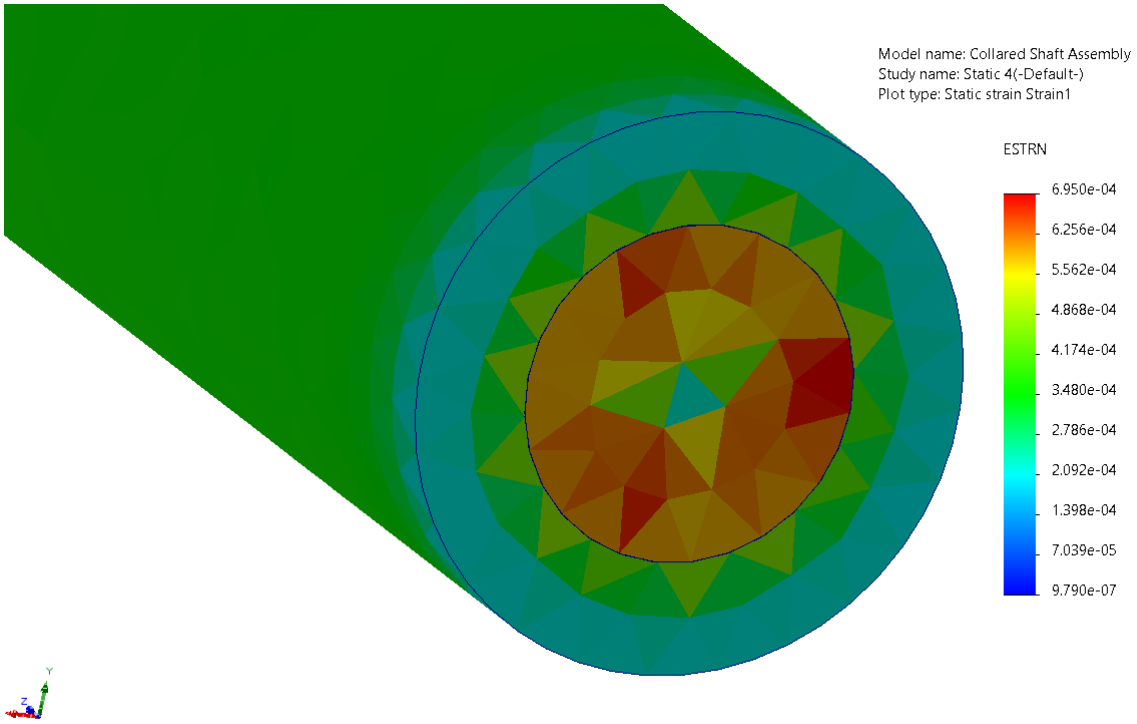


б)

Рисунок 3.13. – Малоциклова втома. Розподіл значень Damage Persentage та Total life (cycle) за результатами моделювання

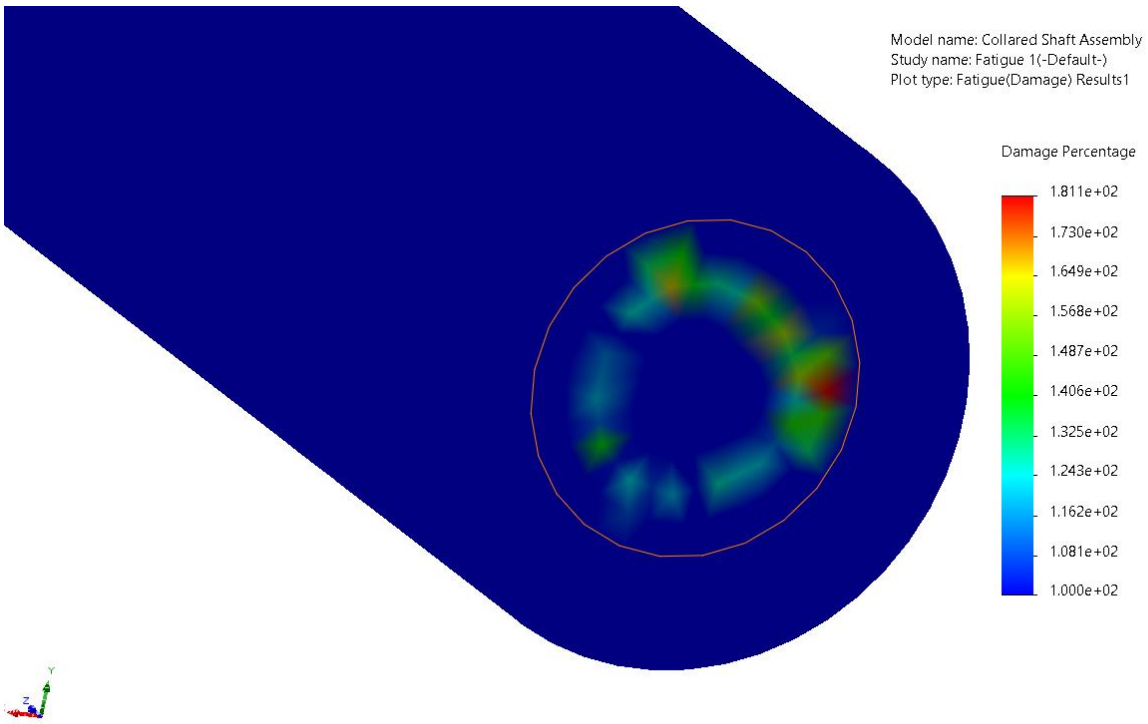


а)

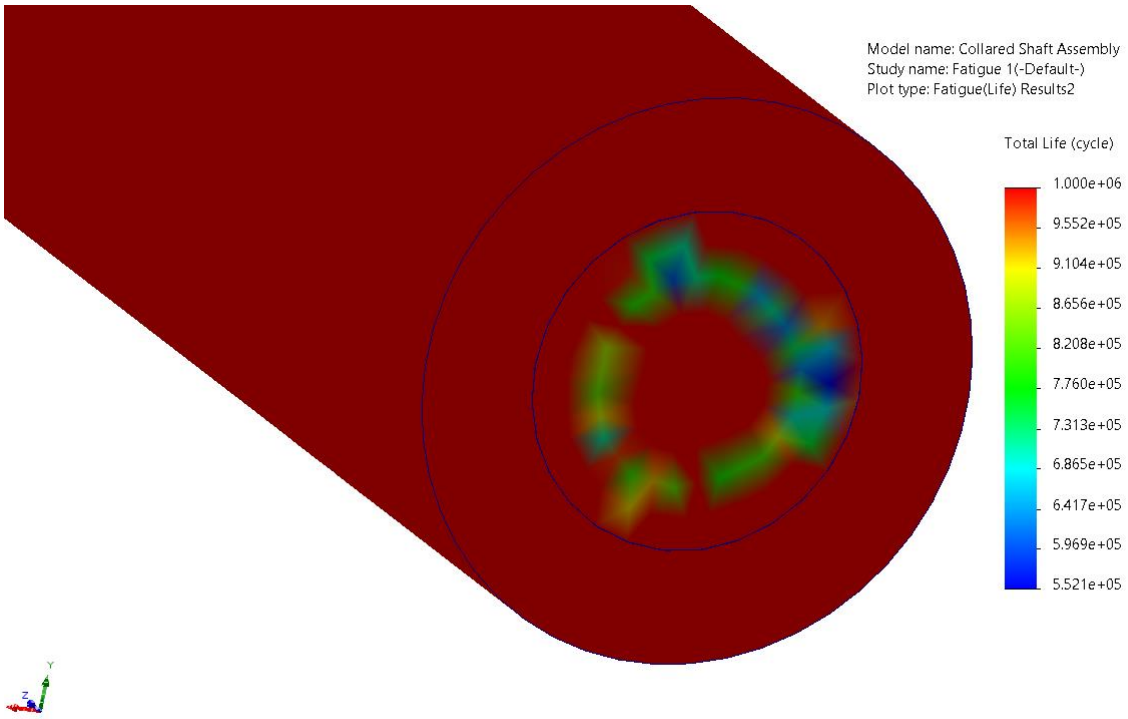


б)

Рисунок 3.14. – Багатоциклова втома. Розподіл напружень, оцінених за критерієм Мізеса модельного зразка та відносне подовження при навантаженні, оцінені в межах статичного аналізу



а)



б)

Рисунок 3.15. – Багатоциклова втома. Розподіл значень Damage Persentage та Total life (cycle) за результатами моделювання

ВИСНОВКИ

1. Для лап культиватора Horsch наплавлених зносостійким покриттям ROBOTIX 6011 з бором підвищення експлуатаційної стійкості не перевищує 20-30%, що враховуючи вартість додаткових операцій нанесення покриття свідсить про необхідність змінити схему його нанесення. Запропонований спосіб наплавлення не дає можливості сформувати ефект самозагострювання в процесі експлуатації та збільшує супротив переміщенню робочого органу.

2. За результатами моделювання встановлено, що як при високих навантаженнях (малоциклова втома - експлуатація на важких грунтах), так і легких (багатоциклова втома – експлуатація на легких грунтах) осний ризик пошкоджень буде у перехідному шарі після наплавлення – там концентруються максимальні напруження та пластичні деформації. При вичерпанні ресурсу такого шару, або ударних умовах експлуатації можливим є сценарій формування сколів твердосплавної пластини як ззовні, так і біля перехідного шару. Такі висновки спонукають до необхідності використання технологій зварювання, які зменшать вплив залишкових напружень на експлуатацію виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В.В. Вплив зміцнюючих композиційних покриттів на зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин/В.В.Аулін// Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Пр. І-ї міжнародної науково-технічної конференції (DSRAM-I), 4-7 жовтня 2004 р., Тернопіль (Україна)/ Відп. ред. В.Т. Трощенка, – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2004. – С. 303 – 307.

2. Аулін В.В. Керування характером та інтенсивністю зношування різальних частин робочих органів грунтообробних машин/ В.В.Аулін, Бобрицький В.М, Ауліна Т.М. та ін. // Вісник Харківського держ. техн. університету с.г. Вип.23. – Харків. – 2004. – С. 270-273.

3. Бабицький Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин /Л.Ф.Бабицький. – К.: Урожай, 1998. – 164 с.

4. Балабуха О.В. Підвищення довговічності і ефективності роботи ріжучих елементів грунтообробних машин шляхом управління спрацюванням при дискретному зміцненні: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / КДТУ. – Кіровоград, 2001. – 18с.

5. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. Наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / В.М. Бобрицький. – К., 2007. – 21 с.

6. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на ріжучій частині ґрунтообробного робочого органу /А.І.Бойко, О.В.Балабуха // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2000. – Т. 5. - № 4. – С. 78-82.

7. Бондарев С.І. Обґрунтування оптимального міжремонтного наробітку стрілчастих лап культиваторних агрегатів: автореф. дис. канд. наук: 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / С.І.Бондарев. – Київ, 2007. - 20 с.

8. Борак К.В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових знарядь методом електроерозійної обробки: автореф. дис.канд.техн.наук: спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / К.В.Борак. – Житомір. – 2012. – 19 с.

9. Василенко М. Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні і відновленні робочих органів / М.Василенко //Техніка АПК – К.: 2008. - №1. – С.29-31.

10. Гаврильченко О.С. Обґрунтування параметрів та розробка конструкції культиваторних лап з криволінійним лезом: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / О.С. Гаврильченко. – Глеваха, 2005. – 20 с.

11. Гаврильченко А.С. Особенности износа культиваторних лап с криволинейным лезвием/ А.С. Гаврильченко// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2006. – Вип. 44, том 2. - С. 34-38.

12. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Износ и безизносность / Д. Н. Гаркунов. – М. : МСХА, 2001. – 616 с.

13. Горячкин В.П. Собрание сочинений. – Т. 3. – М.: Колос, 1965. – 384с.

14. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г.Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478.

15. Грунтообробне обладнання. Лапи культиваторів. Приєднувальні розміри (ISO 4197: 1989, ІТД): ДСТУ ISO 4197: 2004/ ГОСТ ИСО 4197 – 2005. - [Чинний від 2006-06-09]. – К.:

Держспоживстандарт України, 2006. – 4 с. – (Національний стандарт України).

16. Грунтообробне обладнання. Стояки та лапи культиваторів. Приєднувальні розміри ДСТУ ISO 5680: 2004/ ГОСТ ИСО 5680 – 2005. - [Чинний від 2006-09-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 6 с. – (Національний стандарт України).

17. Гуков Я.С. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обгрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку грунту в умовах України [Текст]: наукове видання / Я.С.Гуков. – К.: ДІА, 2007. – 276с.

18. Дворук В.І. Реолого-кінетична концепція абразивної зносостійкості та її реалізація в керуванні працездатністю механічних трибо систем. дис. на здобуття наукового ступеня д.т.н.: Спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / Дворук Володимир Іванович – К., 2007. – 471 с.

19. Денисенко М. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин/ Денисенко М., Опальчук А.// Вісник ТНТУ. – 2011. – Спецвипуск – 4.2. – С. 201-210.

20. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (4.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту / П. М. Заїка. – Харків: Око, 2001. – 444 с.

21. Каденко В.С Аналіз методів підвишення довговічності ґрунтообробних органів машин / В.С. Каденко // Технічний сервіс машин для рослинництва. Вісник ХНТУСГ, Вип. 145. – Харків, 2014. – С. 144-148.

22. Каденко В.С. Удосконалення робочих органів культиваторів конструкторсько-технологічними методами./В.С.Каденко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортних комплексів. Вісник ХНТУСГ, Вип. 5. – Харків, 2016. – С. 206-210.

23. Пат.94680 Украина, МПК A01B 35/20. Робочий орган культиватора / [Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Блезннюк О.В., Каденко В.С., Манько В.В.] заявник та власник Козаченко О.В. - №201406241; заявл. 05.06.2014; опубл. 25.11.14, Бюл. №22.

24. Солових Є.К. Аналіз характеру зношування лез ґрунтообробних деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / Є.К. Солових, В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – Вип. 35. – С. 153-157.

25. Сисолін В.П. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування/ П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

26. Becher P.F., Richards N., Aspinwall O. Use of ceramic tool for machining nickel base alloys // Int. J. Mach. Tools Manuf. –1989.– Vol. 29. – N 4. P. 575-588.

27. Bekker M.G. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 1969. – P.312-329.

28. Holm R. Electric contacts / R. Holm – Stockholm: Hugo Gebers Forlag, 1946. – 398 p.

29. G. Mavko, T. Mukerji, J. Dvorkin. The Rock Physics Handbook. Cambridge University Press 2003 (paperback). ISBN 0-521-54344-4.

30. Jerzy Napiorkowski, Krzysztof Liger**.** «Wear Testing of a-Al2O3 oxside ceramic in diverse abrasive soul mass» Tribologia Vol 1.2014 pp 63-73.

31. Pabis S. Metodologia i metody nauk empirycznych. – Warszawa: PWN, 1985. – 220 s.

32. Subhash Kakade, Ajay Kumar Sharma, Ghanshyam Tiwari University of Belgrade Faculty of Agriculture Institute of Agricultural Engineering Scientific Journal No. 2. 2014. pp: 91–98.

33. J. Zhang and R.L. Kushawa, « Wear and draft of cultivator sweeps with hardened edges» Department of Agricultural Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada S7N 0W0. pp 41-48 Received 9 March 1994; accepted 1 September 1994.

34. Shevchenko I.A. Development and perfection of technologies and means for processing ground in aspect of their agrophysical parameters/ I.A. Shevchenko. - Warsawa: IBM i ER, 1997. – 125 p.

35. Dabkowski S.L. Mechaniczne wlasciwosci darni traw / S.L. Dabkowski, K.Garbulewski, K. Pachuta // Acta scientiarum Polonorum. Architectura. – Warszawa, 2004. –№ 3(1). – S. 23-35.

36. Putz M. Gerate zur pfluglosen Bodenbearbeitung / Putz M., Horner R. // Getreide Mag. –2004. – Vol.9 – P. 170-172.

37. Koller K. Der Einsatz der Grubbers in der LandwirtschaftlicherPraxis / K.Koller, M. Flammer. – Praktische Landtechnik, 1997. – №10. –S. 401-407.

38. Andersson S. A random wear model for the interaction between a rough and a smooth surface / S. Andersson, A. Söderberg, U. Olofsson // Wear. – 2008. – Volume 264, Issues 9 – 10. – P. 763 – 769.

39. Godwin R.J., Seig D.A., Allot M. The development and evaluation of agriculture disks. International Conference on Soil dynamics, v. 2, 1985, Alabama, Auburn.

40. Jankauskas V. Analysis of abrasive wear performance of arc welded hard layers / V. Jankauskas, R. Kreivaitis, D. Milčius, A. Baltušnikas // Wear. – 2008. – Volume 265, Issues 11 – 12. – P. 1626 – 1632.