

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення зносостійкості стрілочастих лап ґрунтообробних
знарядь»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 2
Дінець Андрій Анатолійович
Керівник: Келемеш А. О.
Рецензент: Шейченко В. О.

Полтава – 2022 року

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час в сільському господарстві для обробки ґрунту використовується велика кількість ґрунтообробних знарядь (культиватори, посівні комплекси, сівалки, розпушувачі та ін.), в яких широко застосовуються такі робочі органи як стрілчасті лапи [1]. Стрілчасті лапи експлуатуються в умовах прямого впливу абразивних частинок і тому інтенсивно зношуються з відповідною зміною геометричних розмірів, основних параметрів і т.д. [1, 2]. Зношені стрілчасті лапи значно знижують ефективність і якість проведених робіт, їх використання призводить до недотримання агротехнічних термінів. Крім цього, ґрунтообробна техніка додатково простоє через заміну зношених стрілчастих лап. Все перераховане в рази збільшує витрати по обробці ґрунту значно знижує кількість отриманої валової продукції. В результаті для підтримки ґрунтообробних знарядь в працездатному стані підприємства з випуску запасних частин до сільськогосподарської техніки випускають велику кількість нових стрілчастих лап у вигляді запасних частин. При цьому витрачається значна кількість дорогої легованої сталі. Ось чому підвищення зносостійкості і довговічності стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь є однією з важливих наукових проблем. В даний час для того, щоб підвищити зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин, найбільш перспективними є керамічні і металокерамічні матеріали [3, 4]. Керамічні матеріали мають істотно більшу зносостійкість по відношенню до твердих сплавів. Однак основним їх недоліком є підвищена крихкість. Це, в свою чергу, суттєво обмежує застосування керамічних матеріалів для зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, що експлуатуються в умовах значних ударних навантажень.

Металокерамічні матеріали являють собою композиційний матеріал, який складається з металевої сталевих основи (матриці) та включених до її складу керамічних компонентів (оксидів, карбідів, нітридів і т.д.).

Однак в даний час існує обмежена кількість способів отримання металокерамічних покриттів на ріжучих поверхнях стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь. Більш того, більшість відомих способів відрізняються складністю і дорожнечою використовуваного обладнання та матеріалів, а також не забезпечують можливість зміцнення широкої номенклатури стрілчастих лап різної маси і конфігурації. Тому дослідження, спрямовані на створення на ріжучих поверхнях стрілчастих лап металокерамічних покриттів, є в даний час актуальними і затребуваними і сприяють вирішенню актуальної народногосподарської проблеми підвищення зносостійкості робочих органів вітчизняних і зарубіжних ґрунтообробних знарядь.

Мета дослідження. Підвищення зносостійкості стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь металокерамічними покриттями, одержаними на ріжучих поверхнях лап при їх зміцненні.

Об'єкт дослідження. Стрілчасті лапи ґрунтообробних знарядь і технологія зміцнення стрілчастих лап.

Предмет дослідження. Фізико-механічні та експлуатаційні властивості металокерамічних покриттів, отриманих при зміцненні на ріжучих поверхнях стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь.

Методика досліджень включала проведення лабораторних досліджень. Експериментальні дослідження виконані за стандартними методиками и включали в себе: елементній аналіз, випробування з визначення адгезійної міцності, пористості, мікротвердості и зносостійкості покриттів. Для підтвердження результатів дослідження проведено експлуатаційні дослідження лап культиватора, зміцнених за розроблення технологією.

Наукова новизна. Визначено аналітичні залежності, що дозволяють визначити товщину шару металокерамічної пасти. Технологія зміцнення ріжучих поверхонь стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, що

відрізняється можливістю зміцнювати стрілчасті лапи широкої номенклатури практично без обмеження по їх масі і конфігурації.

Практична значимість роботи полягає у визначенні оптимального складу металокерамічної пасти і режимів КВДЗ, а також у розробці технологічного процесу зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, які дозволяють в 2,4 рази підвищити зносостійкість ріжучих поверхонь стрілчастих лап в порівнянні з незміцненими серійними. Застосування запропонованої технології дозволяє знизити витрати на експлуатацію сільськогосподарської техніки, а також вирішити проблеми ресурсозбереження.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Конструкція, умови роботи і причини втрати працездатності стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь

Провідне місце при виробництві сільськогосподарських культур займає обробка ґрунту. Тому якість обробітку ґрунту значно впливає на врожайність і ефективність сільськогосподарського виробництва [3, 4].

В даний час в сільському господарстві для обробки ґрунту використовується велика кількість ґрунтообробних знарядь (культиватори, посівні комплекси, сівалки, розпушувачі та ін.), Основним робочим органом яких є стрілочасті лапи.

Стрілочасті лапи можуть бути плоскоріжучими і універсальними (без хвостовиків і з хвостовиками). Плоскоріжучі стрілочасті лапи характеризуються невеликим кутом нахилу до поверхні поля (до 18°). Їх зазвичай застосовують в комбінації з односторонніми лапами і в тих випадках, коли потрібна невелика глибина розпушування з найменшим зміщенням ґрунту. Універсальні стрілочасті лапи одночасно з підрізанням бур'янів проводять розпушування ґрунту. Вони мають збільшений кут нахилу до поверхні поля (до 30°) і більш широкі груди і крила. Даний тип лап є найбільш широко поширеним, його використовують для обробки парів, передпосівної підготовки ґрунту і міжрядної обробки зернових і олійних культур на глибину до 10 ... 14 см [5].

Застосування стрілочастих лап певної конструкції, форми і розміру залежить від виду виконуваних робіт, оброблюваної культури і етапу її розвитку, складу ґрунту. Основними параметрами стрілочастих лап є: кут розвору крил 2γ ; кут кришення β ; кут підйому грудей α ; ширина захвату B ; кут різання β_0 ; ширина крила b ; товщина матеріалу δ [6].

При виборі величини кута 2γ виходять, головним чином, з того, що стебла рослин повинні ковзати по ріжучій поверхні лапи. В цьому випадку процес різання відбувається з ковзанням, що робить більш простим перерізання бур'янів або сходження їх з ріжучої поверхні лапи при відсутності перерізання [7]. Правильний вибір величини даного кута не дозволяє бур'янам обволікати лезо лапи.

Якщо величина кута 2γ перевищує допустиму, то сила тертя, що виникає між коренями бур'янів і ріжучою поверхнею лапи, перевищує силу опору. В результаті бур'яни не сходять з ріжучої поверхні лапи і вона фактично перестає працювати. При обробці різних типів ґрунтів необхідно застосовувати стрілчасті лапи, що мають різне значення кута 2γ . Наприклад, при обробці чорноземних ґрунтів кут 2γ доцільно змінювати в інтервалі $50^\circ \dots 58^\circ$, для обробки ґрунтів, що мають середню в'язкість – $60^\circ \dots 78^\circ$, а для піщаних і супіщаних ґрунтів – $70^\circ \dots 80^\circ$ [8].

Кутом різання β_0 називають кут, який утворює верхня кромка ріжучої поверхні лапи з горизонтальною площиною в перерізі, перпендикулярною цій поверхні.

Заточка ріжучої поверхні стрілчастої лапи проводиться знизу, зверху, одночасно з двох сторін. Кут загострення і стрілчастих лап зазвичай становить $12^\circ \dots 15^\circ$, а потиличний кут ε дорівнює 10° . Тоді кут β_0 буде дорівнювати: $\beta_0 = (12^\circ \dots 15^\circ) + 10^\circ = 22^\circ \dots 25^\circ$.

При куті кришення менше 15° зазвичай використовують верхню заточку ріжучої поверхні стрілчастої лапи, в інтервалі кутів від 15° до 25° використовують комбіновану (двосторонню) заточку. Для кутів кришення понад 25° заточка ріжучої поверхні стрілчастої лапи повинна бути нижньої [9].

Кути кришення β і підйому грудей лапи α вибирають зазвичай такими, щоб вони дозволяли забезпечити необхідне розпушування ґрунту. Використання лап з великими значеннями даних кутів призводить до

деформації і зміщення ґрунту як в напрямку переміщення лапи, так і в сторони.

Це, в свою чергу, сприяє утворенню борозен і підйому нижніх шарів ґрунту вгору на поверхню [10]. Плоскоріжучі стрілчасті лапи мають кут $\beta = 15^\circ \dots 18^\circ$, у універсальних стрілчастих лап він становить $20^\circ \dots 30^\circ$.

Ширина захвату стрілчастих лап B найчастіше визначається на підставі дослідних даних. При цьому враховується їх заглиблюваність, рихляча здатність, зручність розміщення на агрегаті. В даний час виробниками випускаються стрілчасті лапи 19 основних типорозмірів [10, 11]. Ширина захвату більшості стрілчастих лап знаходиться в інтервалі 220...410 мм.

Ширину крила зазвичай роблять зменшуючою до кінця: максимальний розмір b_1 складає 45...75 мм, а мінімальний розмір b_2 відповідно 30 ... 50 мм.

Товщину матеріалу δ для виготовлення стрілчастих лап приймають, керуючись комплексом факторів. Найважливішими з них є глибина обробки, фізико-механічні властивості оброблюваного ґрунту, ширина захвату лапи, ширина її крил, фізико-механічні та технологічні властивості матеріалу [11].

Матеріалом для виготовлення універсальних стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь вітчизняного виробництва найчастіше служать сталі 65Г і 70Г ГОСТ 1343-82 [11, 12]. Для збільшення ресурсу робочі поверхні лап піддають термічній обробці або наплавлені твердим сплавом. Стрілчасті лапи зарубіжних знарядь виготовляють переважно з міцніших борвмісних мало- і середньовуглецевих сталей з добавками молібдену і титану [19, 20]. Аналогами даних матеріалів в Україні є сталі 30ГР, 40ГР, 30Г2Р.

При експлуатації ґрунтообробних знарядь на ріжучі поверхні стрілчастих лап впливають абразивні включення, що містяться в ґрунті. В результаті лапи зношуються з відповідною зміною їх геометричних розмірів, основних робочих параметрів, що призводить до зменшення кількості одержуваної валової продукції [12, 13].

Основні дефекти лап культиваторів – затуплення лезової частини, знос носка і крил по ширині на всій довжині, наявність деформацій і тріщин, злами, погнутість площини [13]. Більшість (понад 60%) стрілчастих лап втрачають працездатний стан через граничний знос носка і ширини крил (рис. 1.1).

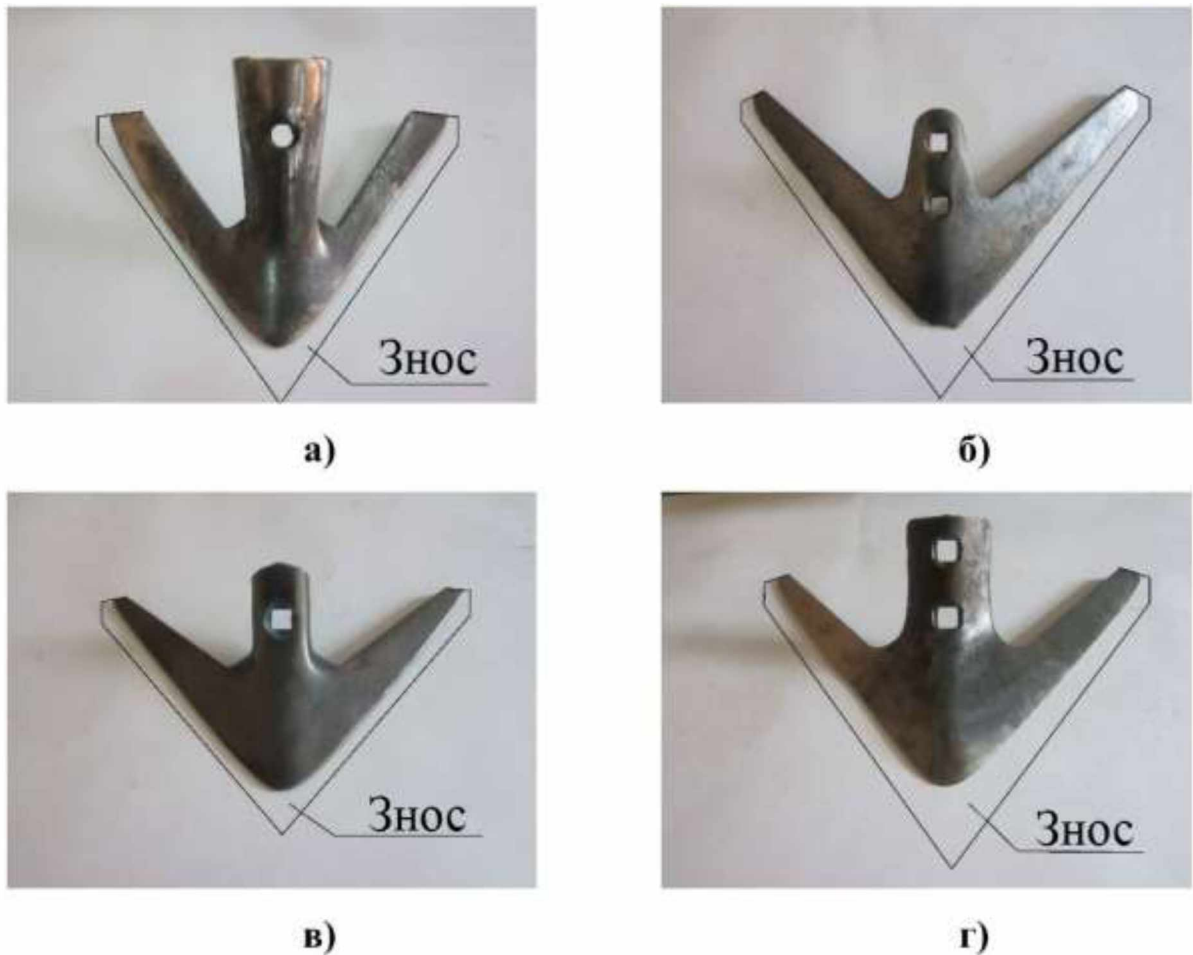


Рисунок 1.1 – Зношені стрілчасті лапи: сівалки-культиватора Bourgault 8810 (а); культиватора КПС-4Г (б); культиватора Lemken Kompaktor (в); культиватора КШН-12Н (г)

Найбільшою інтенсивністю зношування характеризується носок лапи. На різних ґрунтах її значення в 2,2 ... 2,5 рази більше, ніж у крил лап [14]. У міру віддалення від носка лапи інтенсивність її зношування значно знижується.

Необхідно також враховувати, що тяговий опір стрілчастих лап, встановлених в першому ряду ґрунтообробного знаряддя, в середньому в 2 рази вище, ніж тяговий опір стрілчастих лап, встановлених у другому ряду. Це пов'язано, головним чином, з тим, що перший ряд стрілчастих лап обробляє недеформований ґрунт, а наступні ряди лап переміщуються по вже частково обробленому ґрунті [15]. Тому стрілчасті лапи, встановлені на першому і наступних рядах ґрунтообробного знаряддя завжди мають різний знос.

Особливістю стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь є також і те, що це симетричні робочі органи, тому їх знос по крилах також однаковий. Однак в разі неправильного регулювання агрегату, а також при порушеннях розмірів і форми стійок кріплення можуть мати місце нерівномірні знос крил стрілчастих лап (рис. 1.2).

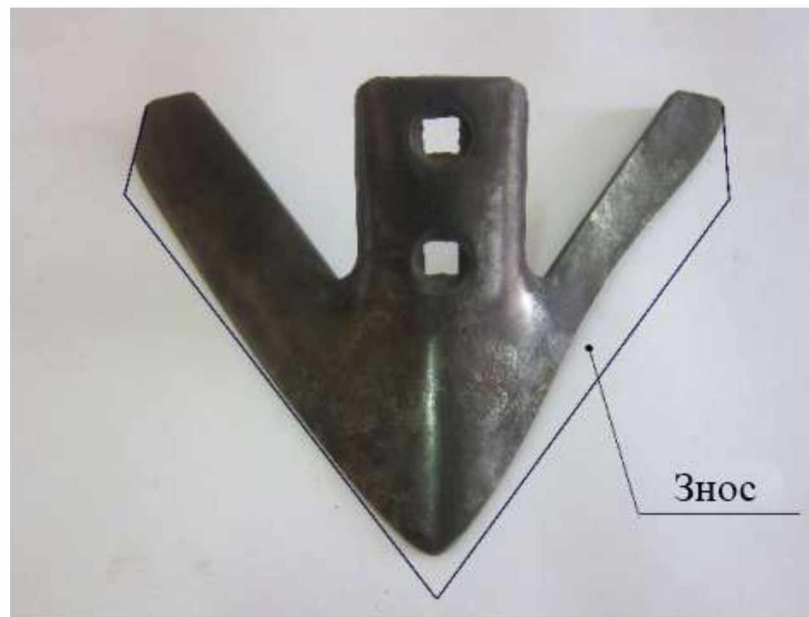


Рисунок 1.2 – Стрілчаста лапа посівного комплексу John Deere730, що має нерівномірний знос крил

Характер зносу стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь залежить від фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунту. Найпоширенішим мінералом в складі ґрунту є кварц. Його частка в складі ґрунту дорівнює

75...85%, а твердість HV становить в середньому 10,5 ... 12,5 ГПа [16]. За ступенем абразивного впливу на стрілчасті лапи всі типи ґрунтів діляться на три групи. Розподіл ґрунтів на групи відбувається залежно від їх зношувальної здатності, яка характеризується відповідним коефіцієнтом $K_{ЗН}$. Він являє собою відношення зносу стрілчастої лапи досліджуваним ґрунтом до зносу цієї ж стрілчастої лапи еталонним середовищем (абразивним) в ідентичних ґрунтово-кліматичних умовах. В першу категорію включені ґрунти, що мають $K_{ЗН} = 1,3 \dots 3,0$. При роботі на даних ґрунтах стрілчасті лапи ґрунтообробних знарядь зношуються найчастіше по товщині [17]. Другу категорію складають ґрунти, що мають $K_{ЗН} = 0,5 \dots 1,3$. При роботі на даних ґрунтах ріжучі поверхні стрілчастих лап зношуються в основному по ширині і в меншій мірі по товщині. До третьої категорії відносять ґрунти, що мають $K_{ЗН} = 0,37 \dots 0,65$. Знос стрілчастих лап на даних ґрунтах відбувається, головним чином, по ширині [18].

Найбільш інтенсивно стрілчасті лапи ґрунтообробних знарядь зношуються на піщаних ґрунтах [19]. Далі, в порядку убутання йдуть супіщані, суглинні, глинисті і важкоглинисті ґрунти. Вологість ґрунту також дуже впливає на знос стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь [20]. Встановлено, що глинисті і суглинні ґрунти мають найменшу зношувальну здатність при 14...18% -ій абсолютній вологості. Зі зменшенням вологості від зазначених значень їх зношувальна здатність спочатку збільшується, а потім різко зменшується. Супіщані ґрунти володіють максимальним абразивним зносом при абсолютній вологості 14%. Зі збільшенням або зменшенням вологості від зазначеного значення абразивний знос даних ґрунтів зменшується. При абсолютній вологості 9...10% абразивний знос супіщаних ґрунтів мінімальний.

Одним з основних показників, що визначають працездатність стрілчастих лап, є ступінь підрізання ними бур'янів [21]. На якість виконання даної роботи істотно впливає кут заточки лапи. Збільшення товщини різальної кромки леза і кута заточування стрілчастих лап зменшує ступінь

підрізання ними бур'янів, середню глибину обробки ґрунту, викликає підвищення нерівномірності ходу агрегату по глибині і збільшення його тягового опору. Найбільш інтенсивне зменшення середньої глибини обробки ґрунту стрілочастими лапами відбувається в міру збільшення товщини їх леза до 0,8 ... 0,9 мм і кута заточування до 20 ... 22°.

Подальше збільшення товщини і кута заточування леза не викликає значної зміни глибини обробки, тобто відбувається її стабілізація.

Використання зношених стрілочастих лап при експлуатації ґрунтообробного знаряддя призводить до порушення заданої глибини обробки. При утворенні на ріжучій поверхні стрілочастої лапи широкої потиличної фаски виникає вертикальна складова реакції ґрунту, що призводить до нерівномірності глибини суцільного обробітку. В результаті має місце виглиблення стрілочастої лапи [22]. Воно відбувається за рахунок того, що заглиблююча сила стає меншою сили, що виштовхує.

1.2. Аналіз способів зміцнення стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь

Зносостійкість стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь доцільно збільшувати, використовуючи зміцнення їх ріжучих поверхонь. В даний час відомо велика кількість способів зміцнення робочих поверхонь різних деталей. Однак не всі вони доцільні для збільшення зносостійкості стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування при значних навантаженнях. Для їх зміцнення найчастіше використовують такі основні способи (рис. 1.3).

Для зміцнення стрілочастих лап широко використовують термічну обробку (гартування), яка може проводитися як на всю глибину лапи, так і з використанням струмів високої частоти на твердість не менше 40 HRC на глибину загартовування 1 ... 2 мм [23]. Однак істотного підвищення зносостійкості стрілочастих лап термічна обробка не забезпечує.



Рисунок 1.3 – Способи зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь

Широко поширеною технологією хіміко-термічної обробки (ХТО), яка застосовується для зміцнення ріжучих поверхонь стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, є їх борування. При використанні даної технології отримують дифузійні зміцнюючі шари глибиною до 300 ... 600 мкм, що мають високу твердість, а також значну абразивну зносостійкість [24].

Для підвищення продуктивності ХТО розроблена технологія швидкісного борування ріжучих поверхонь стрілчастих лап з використанням

струмів високої частоти (СВЧ) [25]. В результаті зносостійкість зміцнених стрілочастих лап, в залежності від типів ґрунтів, зростає в 2 ... 4 рази. Однак використане при реалізації даного способу обладнання та порошкові матеріали відрізняються високою вартістю і енергоємністю. Крім цього, досить трудомісткий процес приготування плавненого флюсу, що використовується в якості одного з компонентів боруючої суміші.

Відомий спосіб швидкісного електродугового зміцнення (ЕДЗ) ріжучих поверхонь стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь. Суть методу полягає в дифузійному насиченні зміцнюючої поверхні лапи вуглецем при горінні електричної дуги [26]. Спосіб ЕДЗ відрізняється високою продуктивністю і доступним обладнанням. Після зміцнення лапи піддають термообробці. Однак до недоліків даного способу можна віднести значну ціну компонентів, що використовуються для приготування паст.

Найбільш широко для зміцнення стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь використовують зносостійкі покриття, що наносяться на їх ріжучі поверхні різними способами. Найбільш часто для цього використовують наплавочні технології. Так, наприклад, широко відома технологія індукційного наплавлення стрілочастих лап [27]. При індукційному напавленні на зміцнюючу поверхню наноситься присадний матеріал (шихта), який потім розплавляється під дією струмів високої частоти. Шихта складається з металевих порошоків різного складу і флюсів. Як порошоків можуть використовуватися високолеговані чавуни, сплави на основі кобальту, вольфраму і нікелю, композитні матеріали (псевдосплави) на основі карбідів вольфраму і хрому. Найбільша зносостійкість досягається при використанні порошкової композиції на основі стружки білого чавуну ИЧХ28Н2. Однак найбільш доцільна область застосування індукційного наплавлення – заводи-виробники ґрунтообробних агрегатів, що випускають робочі органи у вигляді запасних частин.

Високопродуктивним способом зміцнення стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь є їх наплавка наморожуванням [28]. Її здійснюють

зануренням нагрітої флюсованої деталі в розплав зносостійкого матеріалу з витримкою протягом 1 ... 2 с. При цьому на зміцнюючій поверхні лапи утворюється шар зносостійкого матеріалу товщиною 2,0 ... 3,0 мм і твердістю 52 ... 55 HRC. Як матеріали для наплавлення використовують зносостійкі сплави ПГ-С27, ПГ-01, ПГ-УС25, ПГ-ФБХ-6-2 або їх суміші. Однак реалізація даної технології пред'являє високі вимоги до кваліфікації робітників.

Розроблено технології лазерної наплавки і зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь. Лазерні технології дозволяють звести до мінімуму оплавлення поверхні матеріалу основи, тому властивості наплавленого шару визначаються властивостями порошкового матеріалу і режимами теплового впливу. Лазерну наплавку робочих органів здійснюють з використанням порошкового сплаву ФБХ-6-2 з різними добавками, що містять тверді оксиди металів і м'яку сполучну фазу. Твердість наплавленого шару знаходиться в інтервалі 56 ... 61 HRC. Однак при використанні лазерних технологій зміцнення необхідне використання установок, які забезпечують просторове управління лазерним променем. Останнє значно ускладнює їх конструктивне оформлення.

Розроблено технологію підвищення зносостійкості стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, що передбачає створення на крилах лапи пилкоподібної форми леза. При реалізації технології на верхню частину стрілчастої лапи електроіскровим методом за допомогою шаблону наносять твердий сплав ВК6 (твердість HRC 53 ... 60) окремими ділянками шириною 5 ... 6 мм і залишають незміцнені ділянки такої ж ширини. Потім з протилежного боку лапи з використанням високочастотного генератора спеціальним індуктором під шаром охолоджуючої рідини зміцнюють ділянки леза стрілчастої лапи, розташовані за місцем проекції дискретних розривів зміцнюючих ділянок зовнішньої сторони леза (твердість HRC 60 ... 65). Однак необхідність отримання складнопрофільних конструкції і, як наслідок,

висока трудомісткість не дозволяють рекомендувати дану технологію до широкого впровадження.

Проведено дослідження по зміцненню стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь наплавочним порошковим дротом [18]. Для зниження внутрішніх напружень проводилося відпускання. Даний спосіб забезпечує високу твердість ріжучих поверхонь лап (56 ... 58 HRC), проте їх ударна в'язкість знижується і через особливості властивостей матеріалів стрілчастої лапи і наплавленого зносостійкого шару [19]. Для усунення тендітних зламів може використовуватися двошарова наплавка. При цьому, як правило, використовують різні марки дротів, наприклад, перший шар виконують дротом типу ПП-АН125, а другий дротом типу ПП-АН170. Використання двошарової наплавки дозволяє дещо знівелювати часткову втрату ударної в'язкості і отримати високу твердість поверхні – до HRC65 [19].

Однак при реалізації даної технології необхідний точний розрахунок часу між виконанням шарів наплавки, а також ширини зони термічного впливу. В результаті значно зростають трудовитрати при її реалізації.

Підвищити зносостійкість стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь можливо за рахунок точкового зміцнення [14]. При його реалізації на ріжучу поверхню стрілчастої лапи за допомогою порошкового дроту ПП-Нп-80Х20Р3Т наплавляють зносостійкий матеріал у вигляді точок. Отримані в результаті цього твердосплавні елементи конусоподібної форми (точки) мають змінний переріз. Їх твердість також є змінною і зменшується до основного металу. При експлуатації стрілчастих лап, зміцнених з використанням даної технології, зони основного металу (з меншою твердістю) зношуються більш значно, і на їх місці виходить западина. Ці западини чергуються з виступами наплавлених ділянок (зносостійких точок). В результаті створюється пилкоподібна ріжуча поверхня стрілчастої лапи. Однак у даних лап мають місце викришування і відколи тендітних твердих включень, що викликає підвищений знос їх робочих поверхонь.

Дослідження, проведені багатьма вченими, дозволили встановити, що в застосуванні твердих сплавів для отримання зміцнюючих покриттів деталей ґрунтообробних знарядь різного призначення досягнутий певний поріг. При проведенні аналізу матеріалів і зносостійких складів серед композиційних і неметалічних матеріалів було встановлено, що для значного підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь найбільш доцільно застосовувати металокерамічні матеріали.

Металокерамічні матеріали (МКМ), які можуть використовуватися для підвищення зносостійкості ріжучих поверхонь стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, експлуатованих в абразивній ґрунтовій масі, складаються з металевої сталевий основи (матриці) з включеними до її складу надтвердими керамічними включеннями (оксидами, карбідами, нітридами і т. д.), тобто являють собою композиційний матеріал. Композиційний матеріал – це штучне поєднання різних за властивостями і формою двох або декількох матеріалів. При цьому дані матеріали мають чітку межу розділу між ними [15]. Значною перевагою композиційних матеріалів є те, що вони об'єднують в собі позитивні властивості тих матеріалів, які входять до їх складу.

При зміцненні деталей знарядь МКМ найбільш часто наносяться на робочі поверхні у вигляді покриттів. Існує досить велика кількість способів, що дозволяють формувати дані покриття. Одним із сучасних перспективних способів отримання металокерамічних покриттів є карбовібродугове зміцнення (КВДЗ) з використанням вугільного електрода і багатокомпонентних металокерамічних паст [15, 16].

Суть методу полягає в наступному. Спочатку на ріжучу поверхню стрілчастої лапи наносять пасту, яку висушують до затвердіння. Розплавлення пасти проводять з використанням вібруючого вугільного електрода. При горінні електричної дуги на зміцнюючій ріжучій поверхні з компонентів пасти утворюється металокерамічне покриття. Одночасно відбувається дифузійне насичення матеріалу стрілчастої лапи вуглицем за рахунок його дифузії при сублімації електрода. Відмінною особливістю

КВДЗ є відсутність значного теплового вкладення в зміцнюючу деталь за рахунок вібрації вугільного електрода.

Одним з основних переваг способу КВДЗ є те, що його реалізацію можна здійснювати як на великих спеціалізованих заводах, що займаються виготовленням сільськогосподарської техніки і робочих органів до неї, так і в невеликих майстернях сільськогосподарських фермерських підприємств. Даний спосіб зміцнення дозволяє підвищувати зносостійкість ріжучих поверхонь стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, різних як за масою, так і за габаритними розмірами.

До комбінованих способів зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь відносять ті технології, які поєднують в собі як термічну зміцнюючу обробку, так і нанесення на ріжучу поверхню зносостійкого покриття [17]. В цьому випадку можлива заміна цільноштампованих конструкцій стрілчастих лап на штампозварні. Це дозволяє значно знизити витрату дорогих марок легованих сталей і, тим самим, собівартість зміцнених стрілчастих лап.

Таким чином, проведений аналіз способів зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь показав, що спосіб КВДЗ є одним з найбільш перспективних. При його використанні забезпечується значне підвищення зносостійкості і довговічності зміцнюючих робочих органів, а вживане обладнання відрізняється простотою конструкції, мобільністю і невисокою вартістю. Більшість компонентів, що входять до складу розроблених для зміцнення паст, мають невисоку вартість і є недефіцитними.

1.3 Нанесення металокерамічних покриттів як спосіб зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь

Товщина і основні фізико-механічні властивості металокерамічних покриттів, одержуваних при КВДЗ, залежать від складу використовуваних металокерамічних паст і режимів зміцнення.

До складу металокерамічних паст, використовуваних для КВДЗ, входять металева матриця, тверда складова (керамічні компоненти) і кріоліт [15, 16, 18]. Матриця є композитним каркасом пасти. Як матричний матеріал доцільно використовувати сталеві наплавочні порошки з високою твердістю і стійкістю проти абразивного зношування. Проведений аналіз показав, що в якості матриці паст, що використовуються при КВДЗ, найчастіше використовують порошки ПГ-10Н-01, ПГ-УС25, ПГ-ФБХ6-2, ПГ-СР4, ПР-Н70Х17С3Р4. Матриця забезпечує металокерамічному покриттю необхідну ударну в'язкість.

В якості твердої складової металокерамічних паст, використовуваних для КВДЗ, можуть використовуватися карбіди, оксиди, нітриди і бориди таких металів, як бор, вольфрам, титан, хром і ін. [20].

Ці компоненти мають високу температуру плавлення і фізико-механічні властивості. Разом з тим, при використанні боридів зміцнюючі покриття мають підвищену крихкість, а нітриди мають високу вартість і важкодоступні для придбання. Таким чином, в якості твердої складової металокерамічних паст найбільш часто застосовують оксиди і карбіди. При КВДЗ як керамічних компонентів паст найчастіше використовують оксид алюмінію Al_2O_3 , оксид кремнію SiO_2 і карбід бору B_4C [21].

В даний час спосіб КВДЗ знаходиться в стані розвитку. Поки що залишаються не до кінця вивченими питання, пов'язані з вибором оптимальних режимів зміцнення і складів використовуваних металокерамічних паст. В опублікованих наукових працях по даному напрямку практично відсутні комплексні дослідження з використання в якості керамічних компонентів металокерамічних паст карбідів (перш за все, карбиду бору). Карбід бору відрізняється дуже високою твердістю та іншими фізико-механічними властивостями. Його використання, навіть незважаючи на більш високу вартість у порівнянні з оксидами, має дозволити значно збільшити зносостійкість зміцнених стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь в експлуатації.

Висновки, мета і задачі дослідження

На підставі аналізу літературних даних було встановлено:

1. Широко застосовуваним робочим органом багатьох ґрунтообробних знарядь є стрілчасті лапи, серед яких найбільш широко використовуються стрілчасті універсальні лапи. При експлуатації через взаємодію їх ріжучих поверхонь з абразивними частинками ґрунту стрілчасті лапи значно зношуються. Використання зношених стрілчастих лап негативно позначається на якості проведених робіт і терміні їх виконання.

2. Підвищити зносостійкість стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь можливо за рахунок застосування зміцнюючих технологій. В даний час найбільш перспективними матеріалами для зміцнення стрілчастих лап є металокерамічні матеріали. Їх найбільш доцільно наносити на ріжучі поверхні стрілчастих лап у вигляді покриттів. Однак більшість відомих способів нанесення покриттів з таких матеріалів мають низьку продуктивність, високу трудомісткість, а також високу вартість обладнання та витратних матеріалів.

Тому мета цієї роботи полягає в підвищенні зносостійкості стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь металокерамічними покриттями, одержуваними на ріжучих поверхнях лап при зміцненні.

Відповідно до поставленої мети визначено такі завдання наукового дослідження:

1. Встановити аналітичні залежності формування напруженості електричного поля при КВДЗ з метою обґрунтування товщини шару металокерамічної пасти, що забезпечує стабільне запалювання електричної дуги.

2. Провести експериментальні дослідження з визначення товщини та фізико-механічних властивостей металокерамічних покриттів, отриманих при зміцненні.

3. Провести порівняльні випробування на зношування, а також експлуатаційні випробування незміцнених серійних і зміцнених стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь.

4. Визначити економічну ефективність від впровадження зміцнення стрілчастих лап у виробництво.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма досліджень

Програмою наукового дослідження передбачалося: розглянути стан питання за літературними джерелами, сформулювати мету і завдання дослідження; теоретично обґрунтувати вплив основних факторів на процес запалювання електричної дуги при КВДЗ і встановити найбільшу товщину шару металокерамічної пасти, що забезпечує стабільне запалювання дуги при КВДЗ; провести експериментальні дослідження по визначенню товщини і основних фізико-механічних властивостей металокерамічного покриття і зміцненого основного металу стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь; розрахувати економічну ефективність.

2.2. Обладнання та витратні матеріали

КВДЗ здійснюють за допомогою установки ВДГУ-2, яка включає в себе пульт управління і вибору режимів, вібратор для установки і закріплення вугільного електрода і зварювальний інвертор (джерела струму) на 200 ... 250А (рис. 2.1).

Технічна характеристика установки представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика установки ВДГУ-2

Назва параметру	Значення
1	2
1. Напруга в мережі, В	220
2. Номінальна частота, Гц	50
3. Робочий струм, А	60-180
4. Напруга холостого ходу не більше, В	60
5. Потужність не більше, кВт	5

Продовження табл. 2.1

1	2
6. Струм захисту по первинній мережі, А	40
7. Температура спрацювання термозахисту, °С	83
8. Струм холостого ходу, А	1,6
9. Габаритні розміри установки, мм	600×400×350
10. Довжина дротів робочого струму, м	2,5
11. Маса установки, кг	9,5



Рисунок 2.1 – Установка ВДГУ-2 для зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь: 1 – зварювальний інвертор (джерело струму); 2 – пульт управління і вибору режимів; 3 – вібратор для закріплення вугільного електрода

У вібратор встановлюють і закріплюють вугільні електроди (рис. 2.2). При КВДЗ використовують електроди діаметром 6 ... 10 мм. Зміцнення ведуть при горінні прямої дуги при використанні наступних раціональних режимів: сила струму $I = 60 \dots 90$ А, частота вібрації вугільного електрода – 25...50 Гц [25], амплітуда вібрації вугільного електрода – 0,5...1,1 мм.

Твердість металокерамічних покриттів, одержуваних при КВДЗ, становить не менше 60 HRC.



Рисунок 2.2 – Вугільні електроди, що використовуються при КВДЗ

В якості матриці розроблених багатокомпонентних паст використовували сталевий порошок ПГ-10Н-01 ТУ У 319-19-004-96. В якості керамічних компонентів паст використовували карбід бору B_4C ГОСТ 5744-85, оксид алюмінію Al_2O_3 ГОСТ 8136 і оксид кремнію SiO_2 ГОСТ 9428-73.

2.3. Методика визначення фізико-механічних властивостей металокерамічного покриття

Товщину металокерамічного покриття зміцнених КВДЗ зразків визначали на поперечних шліфах з використанням мікротвердоміру КМТ-1. Похибка при проведенні вимірювань становила не більше 0,3 мкм.

Поперечні шліфи зміцнених КВДЗ зразків виготовляли наступним чином. Спочатку зразки розрізали на відрізнаму високоточному верстаті. Далі вони поміщалися в електрогідравлічний автоматичний прес для запресовування їх в смолу (рис. 2.3). Після цього зразки полірувалися на

шліфувально-полірувальному верстаті з використанням емульсій до необхідної якості їх поверхневого шару.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд поперечних шліфів зразків, зміцнених способом КВДЗ з використанням паст різного складу, запресованих в смолу

При вимірюванні мікротвердості використовувався метод Вікерса. Навантаження на вимірювальну піраміду F становила 1Н, час витримки $t = 15$ с. Кількість вимірювань приймалося таким, щоб забезпечити необхідну достовірність отриманих результатів.

При визначенні зносостійкості стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь найбільш доцільно проводити їх експлуатаційні випробування. Однак дані випробування є досить дорогими, особливо в тих випадках, коли необхідно порівняти велику кількість різних складів металокерамічних паст.

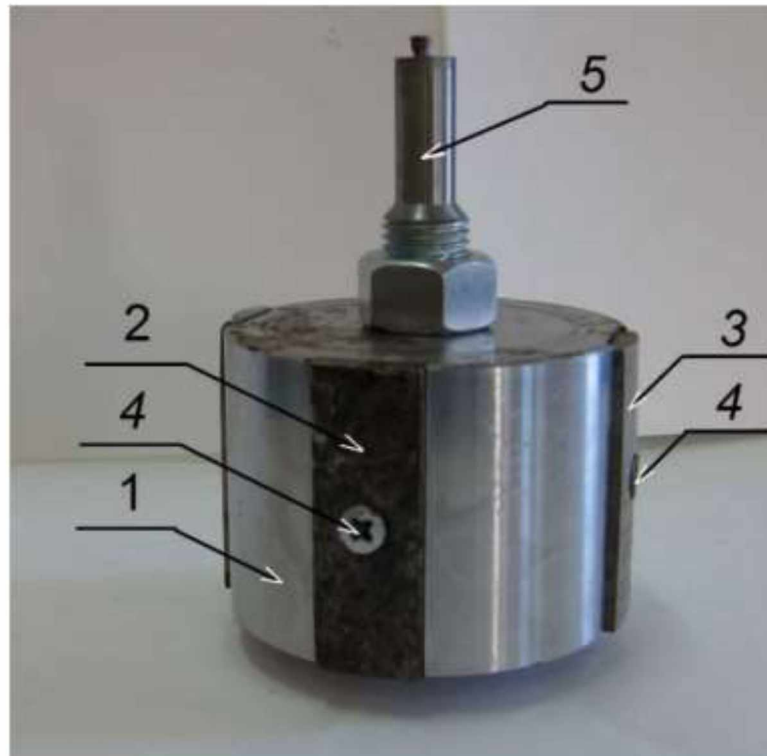
Тому перед проведенням експлуатаційних випробувань доцільно здійснювати випробування на зношування в лабораторних умовах. При цьому обов'язковою умовою є відтворення в даних випробувань тих умов, які мають місце при реальній експлуатації стрілочастих лап.

Широко використовується для проведення лабораторних випробувань на зношування є установка ИМ-01 [25]. При проведенні даних випробувань на даній установці зразок закріплюють в тримачі і потім через систему жолобів в зону контакту зразка і ролика подають абразивний матеріал. Абразивні частинки, проникаючи в еластичний матеріал обертового ролика, викликають знос зразка.

Однак при випробуваннях на установці ИМ-01 зразків з зміцнюючими покриттями, отриманими зварювально-наплавочними методами, похибка проведених випробувань стає досить великою зважаючи на певну пористість покриттів. Для отримання достовірних результатів в цьому випадку необхідно проводити як мінімум 10 ... 12 циклів випробувань для кожного зразка, що істотно збільшує тривалість проведених випробувань. Крім цього, при використанні даної установки неможливо забезпечити повну ідентичність проведених випробувань.

Повної ідентичності випробувань можна досягти в тому випадку, якщо серія зразків буде випробовуватися одночасно в однакових умовах. Однак мають місце зміни властивостей абразивної маси в функції часу випробувань ускладнює проведення подібних експериментів, якщо не робить їх неможливими з точки зору отримання достовірних і порівнянних експериментальних даних. У тому випадку кожний наступний зразок буде проходити випробування у вже зміненому середовищі стирання після її контактування з попереднім.

Таким чином, необхідно, щоб досліджувані матеріали розташовувалися на поверхні однієї основи і в комплексі представляли собою дослідний зразок. Тому, згідно з рекомендаціями [26], при проведенні випробувань на зношування використовували пристрій, загальний вигляд якого представлений на рис. 2.4, а випробування проводили за методом «гільзи».

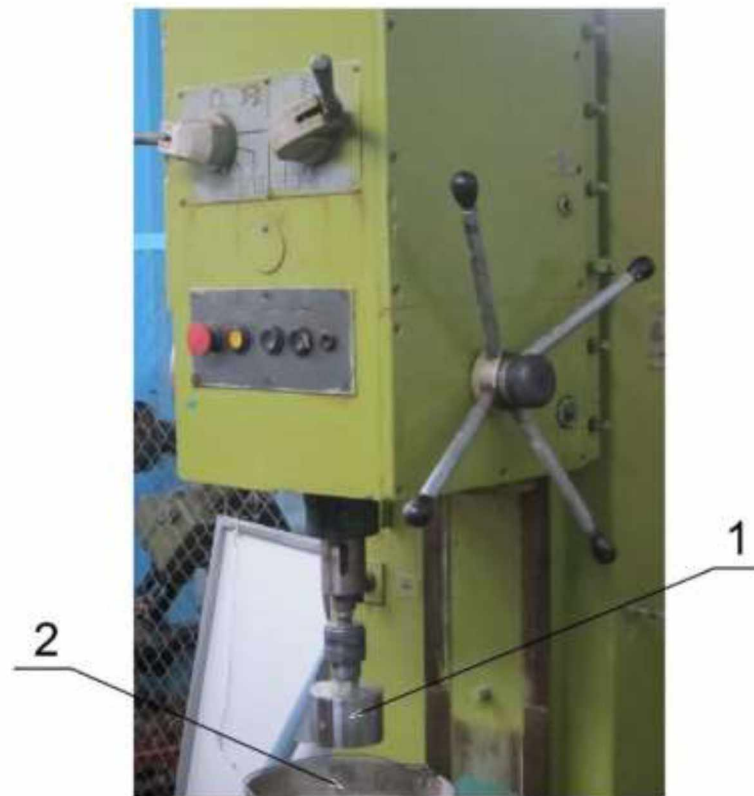


1 – оправка; 2 – зразок з покриттям, отриманим КВДЗ; 3 – зразок без покриття; 4 – кріпильний гвинт; 5 – державка

Рисунок 2.4 – Пристрій для проведення випробувань на зношування

Пристрій для проведення випробувань на зношування складається з рамки 1, що має чотири профрезерованих паза, розташованих під кутом 90° один щодо одного, в які встановлені випробовувані зразки 2 і 3. Зразки 2 мають на зовнішній поверхні металокерамічне покриття, отримане КВДЗ. Зразки 3 виготовлені зі сталі 65Г і служать в якості еталонних. Вибір даної марки сталі пов'язаний з тим, що з неї виготовляють значну кількість робочих органів ґрунтообробних знарядь, що експлуатуються в умовах абразивного зношування. Зразки 2 і 3 кріпляться до оправки 1 за допомогою гвинтів 4. Пристрій також містить державка 5, за допомогою якої воно кріпиться в шпинделі вертикально-свердлильного верстата.

При проведенні випробувань на зношування пристрій 1 з випробовуваними зразками обертався в абразивному матеріалі (рис. 2.5), що знаходиться в ємності 2, встановленій на станині верстата.



1 – пристрій з досліджуваними зразками; 2 – ємність з абразивним матеріалом

Рисунок 2.5 – Установка для проведення випробувань на зношування

Періодично пристрій витягувалися з ємності 2 для фіксації динаміки зносу зразків і перемішування абразиву. Як абразивний матеріал використовували кварцовий пісок розміром 0,16 ... 0,32 мм. Частота обертання шпинделя верстата становила 250 хв⁻¹. Тривалість випробувань становила 10 год. Кожне випробування проводилося з триразовою повторністю.

Величину зносу визначали по зниженню маси зразка при його зважуванні на аналітичних вагах (рис. 2.6) з точністю 0,1 мг як до моменту проведення випробувань, так і після їх проведення.

Швидкість зношування зміцнених КВДЗ і незміцнених зразків при проведенні випробувань проводили за формулою:

$$V = \frac{3}{T}, \text{ г/год,} \quad (2.1)$$



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд аналітичних ваг GR-200

де Z – величина зносу зразків, г; T – тривалість випробування зразків, год.

Зносостійкість зразків визначали по формулі:

$$E = \frac{1}{V}, \text{ год/г.} \quad (2.2)$$

Відносна зносостійкість:

$$K = \frac{E_2}{E_1}, \quad (2.3)$$

де E_1 – зносостійкість еталонного матеріалу, год./г; E_2 – зносостійкість дослідного матеріалу, год./г.

2.4. Методика проведення випробувань в умовах експлуатації

Експлуатаційні випробування зміцнених КВДЗ стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь проводилися на прикладі стрілочастих лап

культиватора КШН-12Н. Половина випробовуваних лап була зміцнена з лицьового боку, а решту – з тильної (рис. 2.7).

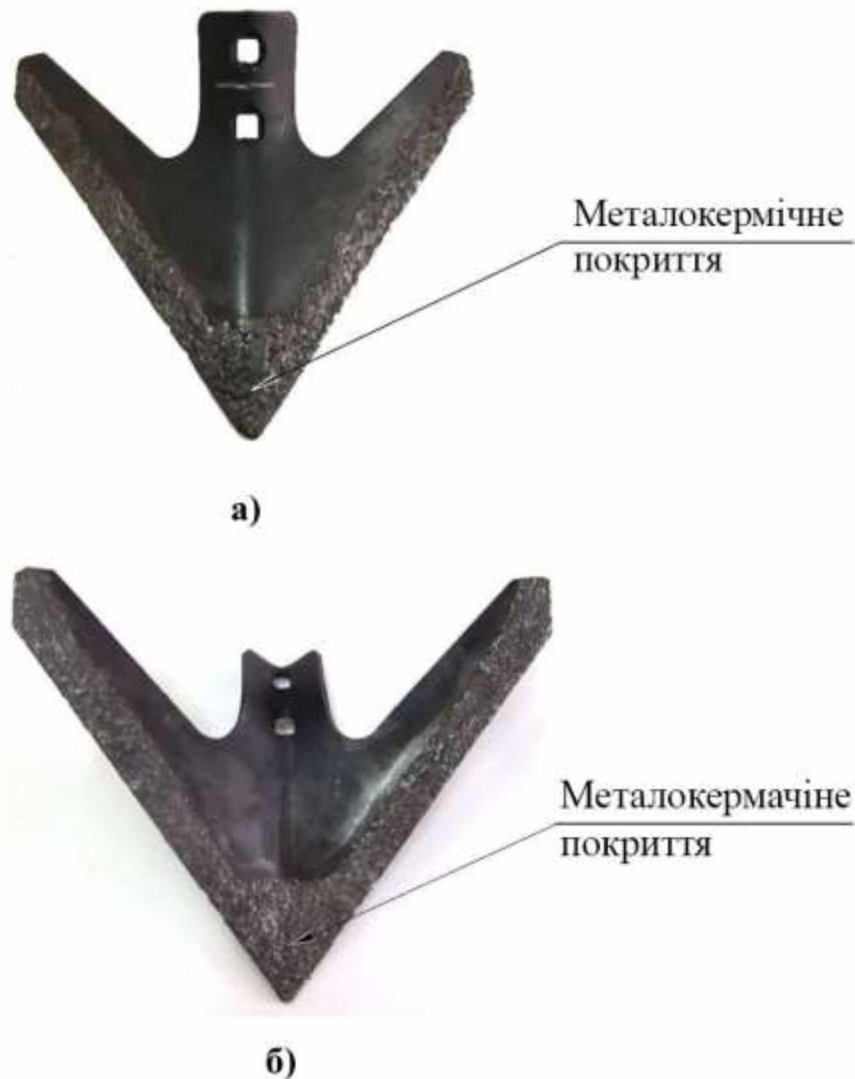


Рисунок 3.10 – Стрілчасті лапи культиватора КШН-12Н, зміцнені КВДЗ з лицьової (а) і тильної (б) сторони

Зміцнення лап як з однієї, так і з іншої сторони обумовлено тим, що традиційно для реалізації самозаточування і збільшення ресурсу стрілчастих лап їх ріжучі поверхні зміцнюють з тильного боку [25, 26]. У той же час деякі вчені висловлювали міркування про доцільність зміцнення лицьовій (верхньої) сторони лап [26]. У зв'язку з цим ще одним завданням проведених випробувань в умовах експлуатації було визначення того, яку частину лапи найдоцільніше зміцнювати КВДЗ.

Експлуатаційні випробування зміцнених КВДЗ стрілчастих лап проводилися в умовах рядової експлуатації. Характеристика гуртів: типи – сірі і темно-сірі лісові; механічний склад – середньосуглинисті і важкосуглинисті; щільність – 1200...1250 кг/м³; вологість в період проведення випробувань – 18...23%. Культиватор агрегувався з трактором ХТЗ-17221. Виконувалися наступні види робіт: передпосівна підготовка ґрунту і культивація незайнятих парів.

Під час експлуатаційних випробувань стрілчастих лап відстежували знос носової частини лап і ширини їх крил. При вибракуванні стрілчастих лап саме ці критерії є основними [20-22]. Випробовувані лапи встановлювалися в першому ряду культиватора, за винятком позицій по колії трактора, тому що ці лапи при експлуатації схильні до найбільшого зношування. Одночасно зі зміцненими на культиватор встановлювали і серійні незміцнені лапи. Вимірювання зносу лап проводилося періодично, через інтервал 4...5 га наробітку, накладенням випробовуваної лапи на шаблон, який відповідає розмірам і формі нової серійної лапи. Для вимірювання зносу лап використовували штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89 з похибкою вимірювань не більше 0,05 мм.

Здатність лап культиваторів виконувати свої функції оцінювалася з урахуванням рекомендацій робіт [23]. Була проведена оцінка здатності зміцнених КВДЗ стрілчастих лап якісно підрізати бур'яни. За даними нормативно-технічної документації ступінь підрізання бур'янів це кількість зрізаних бур'янів, відносно до загальної кількості бур'янів, яка була до культивації на дослідних ділянках. На дослідних ділянках, на яких проводилася агротехнічна оцінка, спочатку визначалося загальна кількість бур'янів. Облік підрізання бур'янів проводили з чотирикратною повторністю, два рази культиватор зі зміцненими КВДЗ і серійними стрілчастими переміщався по ходу вперед, два рази – в протилежному напрямку. Для визначення підрізуваності бур'янів випробовувані культиватори повністю

укомплектовували експериментальними лапами і проводили обробку поля на певну довжину гону.

Висновки

1. Приведена програма експериментальних досліджень по визначенню товщини і основних фізико-механічних властивостей металокерамічного покриття і зміцненого основного металу стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь.

2. Запропоновані обладнання та витратні матеріали для проведення досліджень, а саме: установка ВДГУ-2 для зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь; вугільні електроди, що використовуються при КВДЗ; в якості матриці багатоконпонентних паст сталевий порошок ПГ-10Н-01; в якості керамічних компонентів паст – карбід бору B_4C , оксид алюмінію Al_2O_3 , оксид кремнію SiO_2 .

3. Приведено методики експериментальних досліджень фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів та експлуатаційних досліджень робочих органів зі зносостійкими покриттями в реальних умовах.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

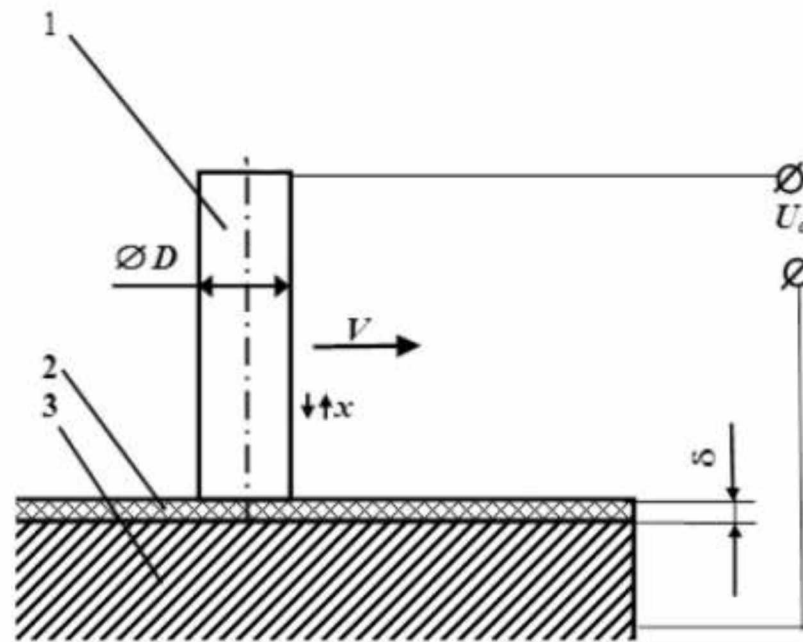
3.1. Дослідження напруженості електричного поля при зміцненні

До особливостей технології КВДЗ стрілочастих лап ґрунтообробних знарядь можна віднести наступне. Перед запалюванням дуги на зміцнюючу поверхню наноситься шар пасти заданої товщини, що складається з матричного матеріалу (порошок ПГ-10Н-01), керамічних компонентів і кріоліту, змішаних в речовині, що представляє собою водний розчин клею ПВА. Потім нанесена паста висушується до затвердіння.

Запалювання дуги при КВДУ здійснюється після затвердіння шару пасти. Таким чином, при цьому процесі між зміцнюючою поверхнею і електродом виявляється шар пасти, що має певний опір. Отже, для успішної реалізації технології КВДЗ необхідно забезпечити стабільність процесу запалювання дуги між коливальним вугільним електродом і зміцнюючою поверхнею з нанесеним шаром пасти. Це може бути досягнуто при створенні між ними напруженості E електричного поля, що перевищує певне порогове значення для запалювання дуги.

В роботі [23] показано, що для вирішення завдання запалювання дуги в подібному випадку може бути використаний методичний підхід, в якому електрод і зміцнюючу поверхню розглядають як обкладки конденсатора, між якими розміщений шар з певним опором, як це показано на рис. 3.1.

Напруженість поля E між обкладками подібного конденсатора при традиційному вібродуговому наплавленні, в процесі реалізації якої електрод періодично дотикається мікронерівностей на наплавленій поверхні, може бути визначена із залежності:



1 – вугільний електрод; 2 – шар затверділої металокерамічної пасти товщиною δ ; 3 – зміцнена поверхня

Рисунок 3.1 – Схема КВДЗ

$$E = k_E \cdot \frac{U_0}{\sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2}}, \quad (3.1)$$

де E – напруженість поля, В/мм;

k_E – коефіцієнт, що враховує вплив на напруженість електричного поля коливань електрода в напрямку наплавлюваної поверхні;

U_0 – напруга джерела електроживлення, В;

R – опір зони контакту, розташованої між електродом і наплавлюваною поверхнею, Ом;

S – площа микронерівностей в зоні контакту електрода і наплавлюваної поверхні, мм²;

a – прискорення електрода при вибродуговому наплавленні, мм/с².

Аналіз залежності (3.1) показує, що прискорення електрода, опір розміщеного між електродом і наплавлюваною поверхнею шару і площа контакту електрода з цим шаром обумовлюють зниження напруженості електричного поля.

В роботі [24] розглядаються найбільш поширені види наплавки, у яких опір зони контакту R і площа мікронерівностей S надзвичайно малі і, відповідно, не перевищують $R \leq 1$ Ом і $S \leq 10^{-4}$ мм².

Внаслідок цього при використанні залежності (3.1) значення напруженості електричного поля стають великими $E_{max} \geq 1,5 \cdot 10^{11}$ В/мм, що цілком достатньо для запалювання дуги. Тому в залежності (3.1) не враховуються втрати напруги на анод і катод.

Однак при КВДЗ отверділий шар пасти має значно більшу, ніж в традиційному вібродуговому наплавленні, електричний опір, і площа контактує з електродом поверхні, яку можна порівняти з торцевої площею електрода.

У зв'язку з цим в емпіричну залежність (3.1) для визначення напруженості електричного поля при коливаннях електрода були введені втрати напруги на катоді U_k і аноді U_a , які при використанні вугільного електрода для наплавлення сталеві поверхні складають $U_k + U_a = 17 \dots 19$ В. Крім цього, враховано розміщення між вугільним електродом і зміцнюючою поверхнею затверділого шару пасти з відносно великим опором. З урахуванням вищевикладеного залежність (3.1) приведена до виду:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + k_a \sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2} \right)}, \quad (3.2)$$

де k_a – коефіцієнт, що враховує вплив коливань електрода, орієнтованих в напрямку зміцнюючої поверхні, на напруженість електричного поля;

δ – товщина затверділого шару пасти, мм.

Тоді умова стійкого запалювання електричної дуги при коливаннях електрода може бути записана в наступному вигляді:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + k_a \sqrt[3]{a \cdot R^2 \cdot S^2}\right)} \geq E_3, \quad (3.3)$$

де E_3 – мінімальне значення напруженості електричного поля, що забезпечує запалювання дуги при КВДЗ, В/мм.

При зміцненні вугільний електрод установки ВДГУ-2, що використовується для КВДЗ, коливається з амплітудою $A = 0,5 \dots 1,1$ мм і частотою $f = 25$ Гц і $f = 50$ Гц, тобто його переміщення при коливаннях у вертикальному напрямку можуть бути описані рівнянням:

$$x = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t), \quad (3.4)$$

де A – амплітуда коливань електрода, мм;

f – частота коливань електрода, Гц;

t – час, с.

Таким чином, амплітуда прискорення електрода при КВДЗ може змінюватися в досить широкому діапазоні:

$$a = \ddot{x}_{\max} = 4A\pi^2 f^2 = 12300 \dots 49300 \text{ мм/с}^2. \quad (3.5)$$

Попередньо проведеними дослідженнями було встановлено, що найбільш істотний вплив на опір R затверділої пасти надає товщина шару пасти, причому цей вплив носить ступеневий характер, в аналітичній формі має вигляд [122, 123]:

$$R = k_\delta \delta^5, \quad (3.6)$$

де $k_\delta = 28500$ Ом/мм⁵.

Поверхня отверділого, але збереженого відносно пружно-пластичні властивості, шару пасти має розвинений рельєф поверхні, який при контакті з вугільним електродом деформується. З огляду на досить велику площу

контакту електрода з поверхнею пасти і її певні упругопіддатливі властивості, величина площі мікронерівностей S може бути прийнята рівною:

$$S = 0,25\pi D^2, \quad (3.7)$$

де D – діаметр вугільного електрода, мм.

Тоді з урахуванням наведених вище результатів математична залежність напруженості електричного поля, що визначає умову стійкого загоряння дуги, може бути записана в наступному вигляді:

$$E = \frac{U_0 - (U_k + U_a)}{\delta \left(1 + 2,9 \cdot k_a \sqrt[3]{A \cdot f^2 \cdot k_\delta^2 \cdot \delta^{10} \cdot D^4} \right)} \geq E_3. \quad (3.8)$$

Процес запалювання дуги при КВДЗ умовно може бути розділений на три фази:

- перша фаза, при якій в процесі взаємодії електрода з затверділим шаром пасти при створенні різниці потенціалів $U_0 - (U_k + U_a) \approx 32...42$ В між електродом і металевою поверхнею виникає електричне поле, при впливі якого на шар пасти відбувається зміна величини її електричного опору, що призводять до підвищення електропровідності, зростання струму з одночасним зменшенням опору і зниженням напруги до величини U_3 , при якому починається процес запалювання дуги;

- друга фаза, при якій виникає «тонка» дуга, поперечний переріз якої починає збільшуватися, внаслідок чого опір розплавленого шару пасти, розміщеного між вугільним електродом і зміцнюючою металевою поверхнею, знижується з одночасним зниженням напруги джерела живлення до U_d , при якому горіння дуги стає стійким;

- третя фаза, при якій поперечний переріз дуги, струм наплавлення і напруга джерела U_d стабілізуються на певному рівні і починається процес КВДЗ.

3.2. Дослідження товщини металокерамічного покриття

Товщина металокерамічного покриття є однією з основних характеристик, що визначають довговічність зміцнених стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь. При визначенні товщини металокерамічного покриття, отриманого КВДЗ, за результатами попередньо проведених досліджень концентрацію матричного порошку ПГ-10Н-01 змінювали в інтервалі 60 ... 80%, а керамічних компонентів – в інтервалі 10 ... 30%.

Результати проведених досліджень показали, що основний вплив на товщину металокерамічного покриття надає товщина шару нанесеної пасти (рис. 3.2). Зі збільшенням товщини шару пасти має місце практично лінійне зростання товщини покриття незалежно від того, які керамічні компоненти використовуються в складі пасти. Це пов'язано, головним чином, з тим, що паста більшої товщини містить і більшу кількість основних компонентів, що входять до її складу. Найбільша товщина металокерамічного покриття досягається при товщині шару пасти 2,2 ... 2,3 мм. Однак при збільшенні товщини шару пасти понад 2,5 мм товщина металокерамічного покриття починає різко знижуватися, а його суцільність – погіршуватися. При товщині шару пасти 2,6 ... 2,7 мм і більше суцільне якісне металокерамічне покриття на зміцнюючій поверхні не утворюється. Це пов'язано з тим, що при даній товщині шару пасти напруженість електричного поля зменшується до значень, при яких запалити дугу стає неможливо.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження підтверджують висунуті теоретичні припущення щодо найбільшої товщини шару пасти, при якій можливо стабільне запалювання дуги.

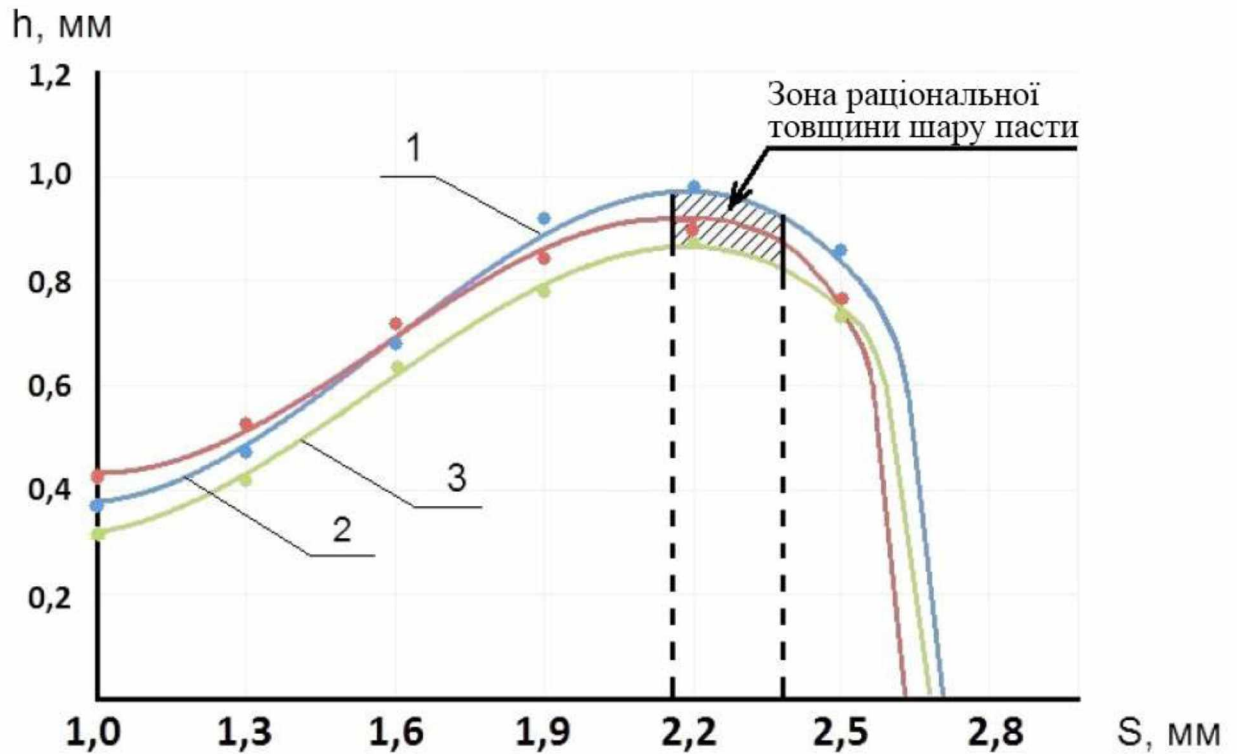


Рисунок 3.2 – Зміна товщини h металокерамічного покриття в залежності від товщини S шару нанесеної пасти. Режимми КВДЗ: $I = 70\text{А}$, $f = 25\text{ Гц}$, $A = 0,5\text{ мм}$, вміст матричного порошку – 60%. Керамічні компоненти: 1 – $\text{В}_4\text{С}$; 2 – Al_2O_3 ; 3 – SiO_2

Зі збільшенням сили струму товщина металокерамічного покриття спочатку збільшується (рис. 3.3), а потім починає знижуватися незалежно від того, які керамічні компоненти використовуються в складі пасти. Отримана закономірність зміни товщини покриття може бути пояснена тим, що при збільшенні сили струму понад 75А відбувається часткове розплавлення вже сформованого покриття, що і призводить до зниження його товщини.

Результати досліджень зміни товщини металокерамічного покриття в залежності від амплітуди коливань вугільного електрода представлені в таблиці 3.1. При їх проведенні товщина шару нанесеної пасти становила 2,3 мм, вміст матричного порошку – 70%, сила струму – 70А, частота коливань вугільного електрода – 25 Гц.

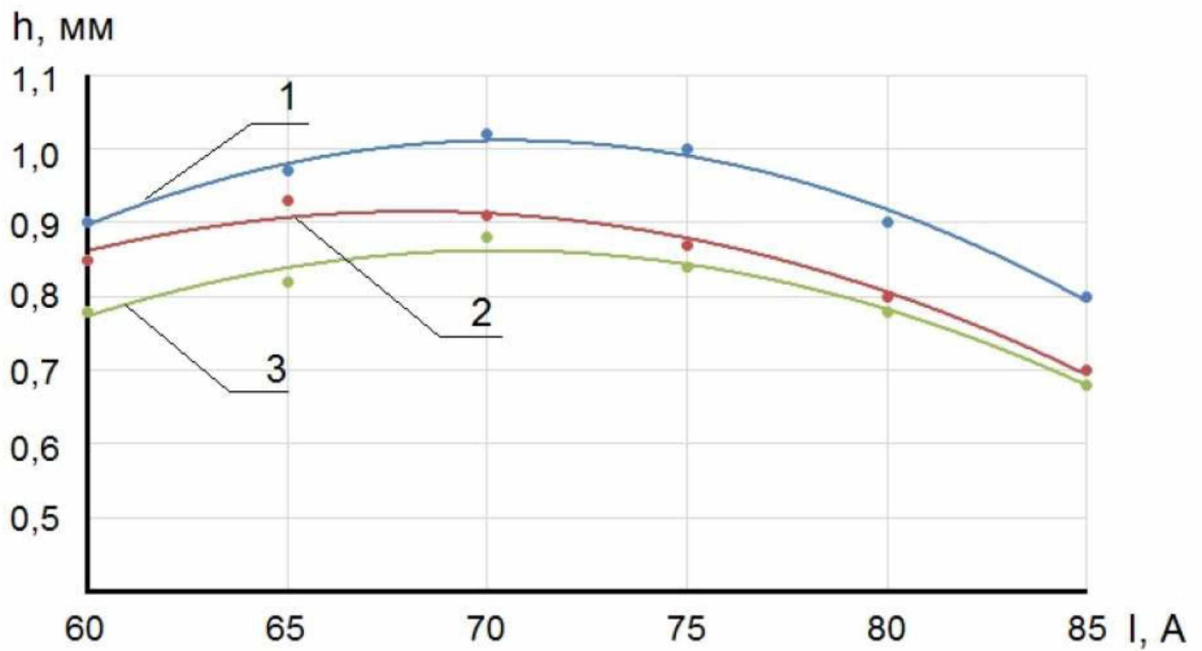


Рисунок 3.3 – Зміна товщини h металокерамічного покриття в залежності від сили струму I . Режими КВДЗ: $f = 25$ Гц, $A = 0,5$ мм, товщина шару нанесеної пасти – 2,2 ... 2,3 мм

Таблиця 3.1 – Зміна товщини металокерамічного покриття в залежності від амплітуди коливань вугільного електрода

Керамічний компонент	Амплітуда коливань вугільного електрода, мм			
	0,5	0,7	0,9	1,1
B_4C	1,02	1,00	0,97	0,95
Al_2O_3	0,91	0,90	0,88	0,86
SiO_2	0,88	0,86	0,84	0,83

Аналіз отриманих дослідних даних показав, що збільшення амплітуди коливань вугільного електрода призводить до зниження товщини металокерамічного покриття незалежно від того, який саме керамічний компонент застосовується в складі пасти. Однак в цілому вплив амплітуди коливань електрода на зміну товщини покриття незначний і не перевищує 0,05...0,07 мм.

Таким чином, за результатами проведених досліджень найбільша товщина металокерамічного покриття 1,0...1,1 мм забезпечується при

використанні пасти товщиною 2,2...2,3 мм, що містить 70% матричного порошку ПГ-10Н-01, 20% карбіду бору і 10 % кріоліту на наступних режимах: сила струму – 70...75А, частота коливань вугільного електрода – 25 Гц, амплітуда коливань вугільного електрода – 0,5 мм. Зниження вмісту матричного порошку до 60% призводить до незначного зниження товщини металокерамічного покриття (до 0,90...0,92 мм), проте в цьому випадку твердість і зносостійкість покриття можуть бути вищими, тому що в складі пасти буде міститися значна кількість (30%) керамічних компонентів.

3.3. Дослідження властивостей металокерамічного покриття і зміцненого основного металу

На рис. 3.4 представлено зміну мікротвердості покриттів по глибині при використанні в складі паст різних керамічних компонентів. При проведенні досліджень товщина шару нанесеної пасти становила 2,2...2,3 мм. Видно, що найбільш високу мікротвердість (890...910 HV на поверхні і 660...670 HV на межі з основним металом) мають покриття, сформовані з паст, до складу яких входить карбід бору В4С (рис. 3.4, тренд 1). Пасты, що містять в своєму складі оксид алюмінію Al_2O_3 , показали більш низькі значення мікротвердості покриттів (690...710 HV на поверхні і 540...560 HV на межі з основним металом, рис. 3.4, тренд 2). При використанні в складі пасти оксиду кремнію SiO_2 мікротвердість металокерамічного покриття є найнижчою. На поверхні покриття мікротвердість становить 600...610 HV, а на межі з основним металом – 510...530 HV (рис. 3.4, тренд 3).

При проведенні лабораторних випробувань на зношування зміцнені КВДЗ і незміцнені зразки випробовувалися на однаковому контактному тиску і тривалості випробувань.

Металокерамічні покриття на поверхні зразків отримували з використанням паст, що містять 60% матричного порошку ПГ-10Н-01, 30% керамічних компонентів і 10% кріоліту на наступних режимах: сила струму –

75А, частота коливань вугільного електрода – 25 Гц, амплітуда коливань вугільного електрода – 0,5 мм.

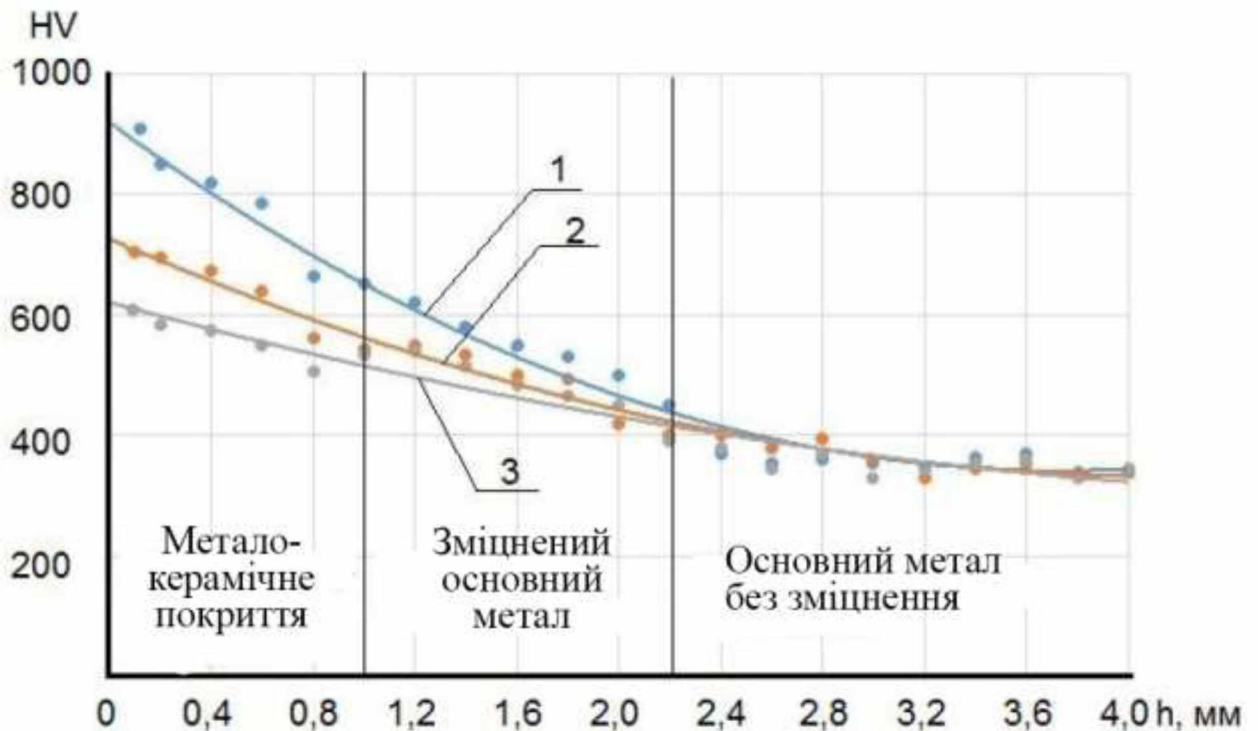


Рисунок 3.4 – Зміна мікротвердості HV металокерамічного покриття і основного металу по глибині h . Режими: $I = 70\text{А}$, $A = 0,5\text{ мм}$, $f = 25\text{ Гц}$

Результати проведених порівняльних випробувань на зношування зміцнених КВДЗ і незміцнених еталонних зразків зі сталі 65Г показали, що найбільший середній знос (0,47 г) мають еталонні зразки (рис. 3.5). Зразки, зміцнені КВДЗ, мають значно менший знос. При цьому мінімальний знос забезпечують покриття, отримані на пастах, що містять карбід бору. Він становить 0,16 г (рис. 3.5).

Швидкості зношування і зносостійкість еталонних зразків і зразків, зміцнених КВДЗ з використанням паст різного складу, визначені за формулами (3.1) і (3.2), зведені в таблицю 3.2.

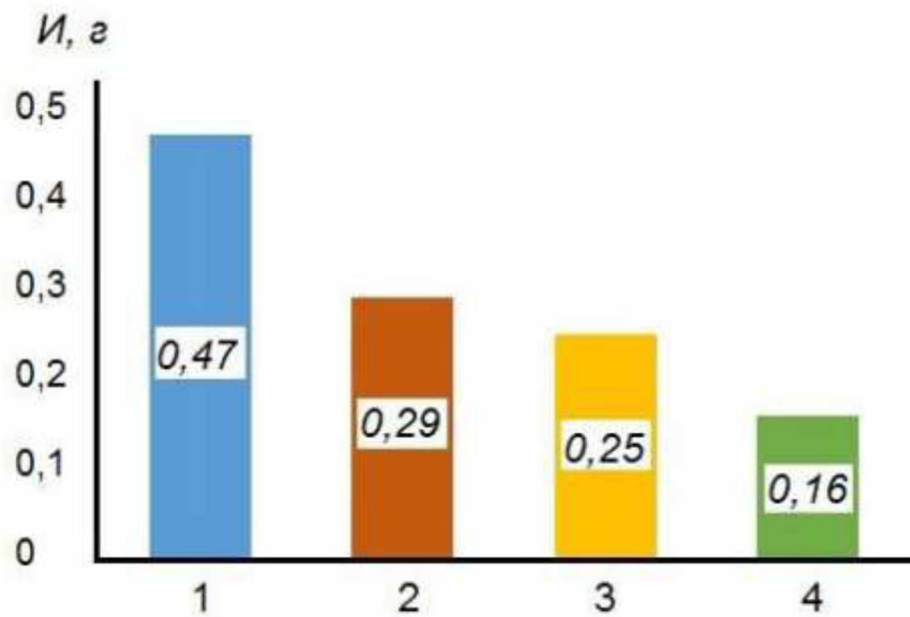


Рисунок 3.5 – Знос еталонних зразків (1) і зразків, зміцнених КВДЗ з використанням паст, що містять SiO_2 (2), Al_2O_3 (3), B_4C (4)

Таблиця 3.2 – Швидкості зношування і зносостійкість еталонних і зміцнених КВДЗ зразків після проведення їх випробувань на зношування

Зразки	Швидкість зношування, г/год.	Зносостійкість, год./г
Еталонні	0,047	21,27
Зміцнені КВДЗ, паста з SiO_2	0,029	34,48
Зміцнені КВДЗ, паста з Al_2O_3	0,025	40,00
Зміцнені КВДЗ, паста з B_4C	0,016	62,50

Таким чином, проведені лабораторні випробування на зношування показали, що відносна зносостійкість зразків, зміцнених КВДЗ, значно перевищує зносостійкість незміцнених зразків зі сталі 65Г, прийнятих за еталон порівняння. При цьому найбільшу відносну зносостійкість показали зразки, зміцнені з використанням паст, що містить карбід бору B_4C . Вона в 2,94 рази перевищує відносну зносостійкість незміцнених зразків зі сталі 65Г.

3.4. Результати експлуатаційних випробувань

Проведені експлуатаційні випробування дозволили встановити, що залежність зносу носової частини лап культиватора КШН-12Н від напрацювання при роботі на суглинних ґрунтах носить практично лінійний характер (рис. 3.6). Причому дана залежність має місце для всіх випробовуваних лап. Отримані результати добре узгоджуються з дослідженнями багатьох вчених, які вивчають зношування зміцнених стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь в експлуатації [5, 6, 8, 10, 16].

Результати проведених експлуатаційних випробувань стрілчастих лап культиватора КШН-12Н показали, що серійні незміцнені лапи досягають свого граничного стану (знос носка 50 мм) і повинні бути замінені при напрацюванні 34 га (рис. 3.6, крива 1). У той же час стрілчасті лапи, зміцнені КВДЗ з лицьової і тильної сторони, при такому ж напрацюванні мають знос носка 23,8 мм і 20,7 мм відповідно (рис. 3.6, криві 2, 3), що в 2,1 і 2,4 рази нижче, ніж у серійної незміцненої лапи. Однак у лап, зміцнених з лицьового боку, в процесі випробувань спостерігається утворення широкої потиличної фаски. Це призводить до деякого виглиблення лапи і зниження глибини обробки. Тому кращим буде зміцнення досліджуваних стрілчастих лап з тильного боку.

Зміцнення стрілчастих лап культиватора КШН-12Н способом КВДЗ з лицьової і тильної сторони дозволяє підвищити їх напрацювання на відмову до 71 ... 72 га і 84 ... 85 га відповідно (рис. 3.7), що в 2,1 ... 2,5 рази вище, ніж у серійних незміцнених лап.

На рис. 3.8 представлені зношені незміцнена серійна і зміцнена КВДЗ з тильного боку стрілчасті лапи культиватора КШН-12Н після польових випробувань. На фотографіях наочно видно різницю в зносах серійної незміцненої, доопрацювавшої до граничного стану лапи, і лапи, зміцненої КВДЗ при такому ж напрацюванні. В даному випадку знос незміцненої серійної лапи перевищує знос зміцненої на 21 мм.

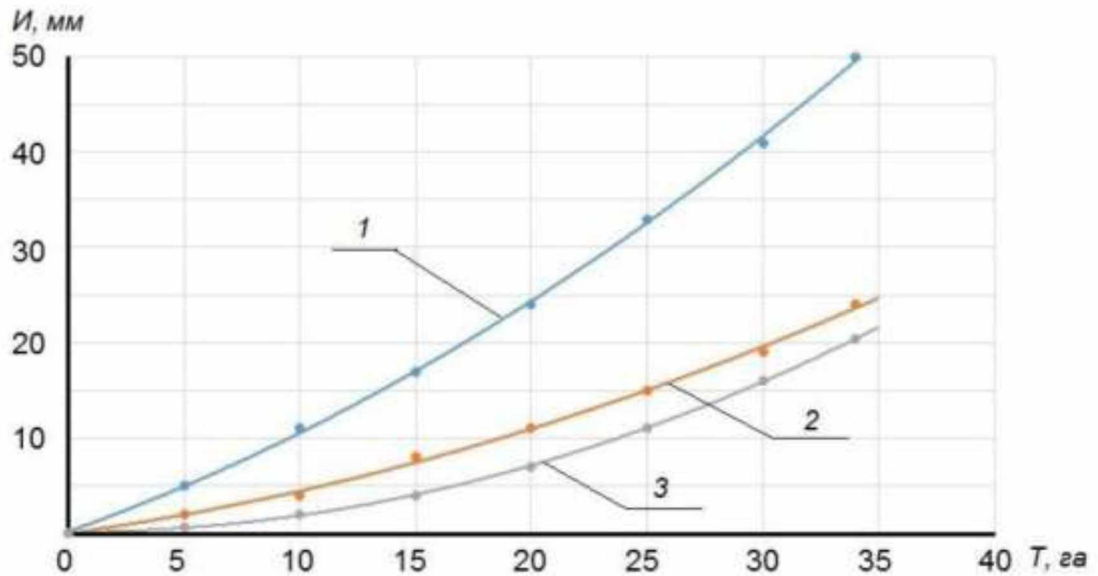


Рисунок 3.6 – Залежність зносу (I) носка стрілочастих лап культиватора КШН-12Н від напрацювання (T): 1 – серійна незміцнена лапа; 2 – лапа, зміцнена КВДЗ з лицьового боку; 3 – лапа, зміцнена КВДЗ з тильного боку

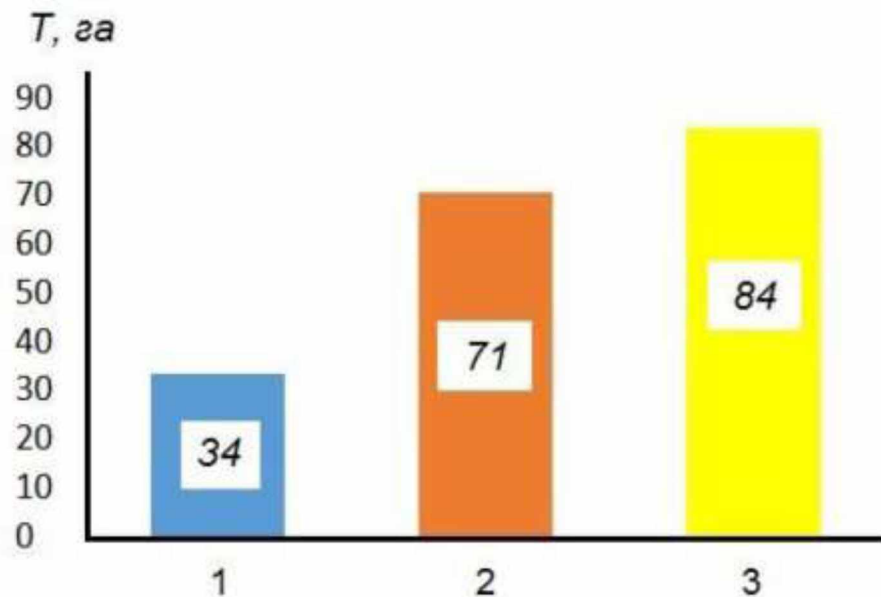


Рисунок 3.7 – Напрацювання (T) на відмову стрілочастих лап культиватора КШН-12Н: серійна незміцнена лапа (1); лапа, зміцнена КВДЗ з лицьового боку (2); лапа, зміцнена КВДЗ з тильного боку (3)



Рисунок 3.8 – Стрілчасті лапи культиватора КШН-12Н: незміцнена (а) після напрацювання 34 га (що досягла граничного стану) і зміцнена КВДЗ з тильного боку (б) після аналогічного напрацювання

Таким чином, проведені експлуатаційні випробування показали, що головним критерієм граничного стану досліджуваних стрілчастих лап культиватора КШН-12Н є знос їх носка. При цьому зміцнення розглянутих лап КВДЗ з тильного боку призводить до підвищення їх зносостійкості при роботі на суглинних ґрунтах в 2,4 рази (рис. 3.9).

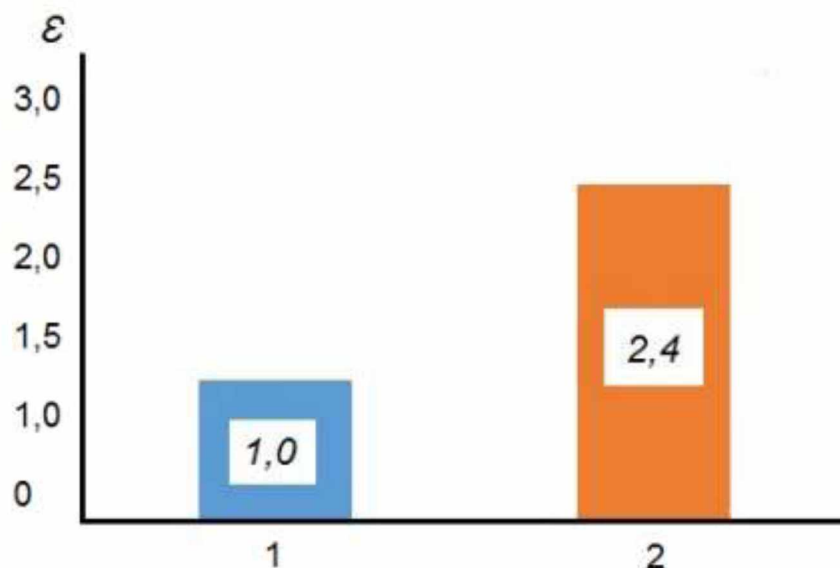


Рисунок 4.20 – Відносна зносостійкість стрілчастих лап культиватора КШН-12Н: серійна лапа (1); лапа, зміцнена КВДЗ з тильного боку (2)

Агротехнічна оцінка стрілчастих лап культиватора КШН-12Н, зміцнених КВДЗ, полягала в оцінці їх пристосованості до підрізання бур'янів. Проведена оцінка показала, що після культивації на поверхні поля не було бур'янів, які не втратили зв'язок з ґрунтом. Аналогічна картина була на всіх ділянках поля, оброблених експериментальними і серійними лапами. Глибину кореневої системи, що перевищує або дорівнює глибині обробки, мали не більше 10...12% бур'янів (в основному це пирій повзучий, осот, польова берізка).

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що ступінь підрізання бур'янів стрілчастими лапами культиватора КШН-12Н, зміцненими КВДЗ, задовольняє агротехнічним вимогам обробки ґрунту.

Висновки

1. Основний вплив на товщину металокерамічного покриття, отриманого при КВДЗ, спричиняє товщина шару нанесеної пасти. Найбільша товщина покриття (0,9...1,0 мм) досягається при товщині шару пасти 2,2...2,3 мм.

2. Основний вплив на мікротвердість металокерамічних покриттів надають керамічні компоненти пасти. При цьому зі збільшенням вмісту їх в складі пасти мікротвердість покриття також зростає. Найбільш високу мікротвердість (на поверхні покриття вона досягає 1110 ... 1120 НV, а на межі з основним металом – 790 ... 795 НV) мають покриття, отримані з використанням пасти, що містить 60% матричного порошку ПГ-10Н-01, 30% карбиду бору і 10% кріоліту на наступних режимах: сила струму – 75А, частота коливань вугільного електрода – 25 Гц, амплітуда коливань вугільного електрода – 0,5 мм. При цьому мікротвердість зміцненого основного металу при використанні даної пасти становить в середньому 580...620 НV.

3. Лабораторними випробуваннями на зношування встановлено, що найбільший середній знос (0,47 г) мають незміцнені еталонні зразки зі сталі 65Г. Зразки, зміцнені КВДЗ, мають значно менший знос.

4. Результати проведених експлуатаційних випробувань стрілчастих лап культиватора КШН-12Н показали, що зміцнення стрілчастих лап культиватора КШН-12Н способом КВДЗ з лицьової і тильної сторони дозволяє підвищити їх напрацювання на відмову до 71...72 га і 84...85 га відповідно, що в 2,1 ... 2,5 рази вище, ніж у серійних незміцнених лап.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що зацікавлені у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою зацікавлених юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством екології та природних ресурсів України разом із Міністерством охорони здоров'я України.

Об'єктом даної екологічної експертизи є досліджувана технологія відновлення та підвищення зносостійкості робочих поверхонь органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення технології карбовібродугового зміцнення з використання металокерамічних покриттів. Зокрема проведені дослідження по застосуванню паст з різним вмістом металокерамічних компонентів з метою вибору оптимального складу.

При ремонті і відновленні деталей автотракторних двигунів основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пил, що утворюється при обробці деталей на токарних, шліфувальних, хонінгувальних верстатах;
- різноманітні хімічні речовини та їх розчини, що використовуються при відновленні деталей шляхом нанесення покриттів;
- ПММ та продукти їх згорання, що утворюються під час обкатки двигунів;
- шум та вібрація при роботі металообробних верстатів, обкатувальних стендів та ін.

Визначено оптимальний склад металокерамічної пасти і режимів КВДЗ, розроблено технологічний процес зміцнення стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь, який дозволяє в 2,4 рази підвищити зносостійкість ріжучих поверхонь стрілчастих лап в порівнянні з незміцненими серійними. Застосування запропонованої технології дозволяє вирішити проблеми ресурсозбереження.

4.2. Охорона праці та безпека з надзвичайної ситуації

4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як наука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

4.2.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії.

Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

Матеріальні системи поєднують у собі системи неорганічної природи (фізичні, хімічні, геологічні та ін.) і живі системи (клітини, найпростіші і високорозвинені організми, популяції, біологічні види, екологічні системи). Особливим класом матеріальних систем є соціальні системи (сім'я, колектив, державна політична система, суспільно-економічна формація). Ідеальною системою є поняття, гіпотеза, теорії, лінгвістичні і логічні побудови і т. ін. Штучною системою є система управління виробництвом, безпекою життєдіяльності і т. ін.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).



Рисунок 4.1. Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій

4.2.3. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2. Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

Схема поетапного аналізу умов виникнення і розвитку аварій наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій

Найменування стадії розвитку аварійної ситуації (аварії)	Основні принципи аналізу умов виникнення (переходу на іншу стадію) аварійної ситуації (аварії та її наслідків)	Способи і засоби попередження, локалізації аварії
Виникнення пожежі	Оцінка й аналіз: можливих масштабів пожежі (площа, кількість горючих продуктів, склад продуктів згоряння, в т. ч. неповного); наявності й ефективності засобів гасіння пожежі; вміння персоналу діяти при ліквідації осередку займання; оперативності й оснащення ДПЧ; наявності і характеристик джерел запалювання	Виключення джерел запалювання; оснащення ефективними засобами гасіння пожежі, засобами сигналізації і зв'язку; дії персоналу і спецпідрозділів щодо рятування людей, гасіння пожежі
Травмування людей	Аналіз кількісних енергетичних характеристик пожежі (енергія випромінювання) та вибуху; наявність і кількість людей в зоні можливого ураження	Раціональне планування промислового майданчика. Розміщення поза межами зони можливого впливу пожежі будівель адміністративного, побутового призначення
Знос, утомленість матеріалу апарата	Перевірка вивченості корозійних властивостей застосовуваних речовин; наявність даних щодо швидкості корозії і зносу; відповідність матеріалу устаткування (трубопроводів), захисного покриття, ущільнювальних матеріалів. Наявність умов для механічного ушкодження устаткування	Застосування обладнання підвищеної надійності, ефективного захисного покриття і захисних пристроїв
Вихід параметрів за критичні значення	Перевірка вивченості властивостей застосовуваних речовин; їх аналіз; виявлення особливо небезпечних речовин; виявлення параметрів, які визначають небезпечність технологічних процесів і їх критичні значення; оцінка достатності оснащення засобами, які виключають вихід параметрів за припустимі межі, їх ефективність, надійність	Дооснащення технологічних процесів засобами контролю, управління й протиаварійного захисту, підвищення їх надійності й ефективності; удосконалення технологічних процесів
Підвищена вібрація	Перевірка надійності й вірності кріплення апаратів, машин, трубопроводів, співвісності з'єднань обертових пристроїв	Своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів

4.2.4. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Техніко-економічна оцінка проведена у відповідності з рекомендаціями щодо визначення економічної ефективності підвищення довговічності сільськогосподарських машин [32].

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології визначали за формулою:

$$E = [(c_1 + E_n \kappa_1) - (c_2 + E_n \kappa_2)] B_T, \quad (4.1)$$

де c_1 і c_2 – собівартість нової та зміцненої культиваторної лапи;

$E_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень [32];

B_T – річний обсяг відновлених лап за розробленою технологією, шт.

Затрати C_y на виготовлення установки для зміцнення культиваторних лап карбовібродуговим зміцненням їх робочих поверхонь визначали за такою залежністю:

$$C_y = C_k + C_{од} + C_{нд} + C_{сб} + C_{зв}, \quad (4.2)$$

де C_k – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{од}$ – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{нд}$ – ціна великих покупних деталей і вузлів, грн.;

$C_{сб}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{он}$ – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Розраховані за вказаною формулою витрати склали 5160 грн.

Питомі капіталовкладення визначали по залежностях [38]:

$$k_1 = \frac{C_{O1}}{B_{Г1}}; \quad k_2 = \frac{C_{O2}}{B_{Г2}}, \quad (4.3)$$

де C_{O1} і C_{O2} – вартість основних виробничих фондів за діючої технології виготовлення і розробленої технології зміцнення стрілочастих лап;

$B_{Г1}$ і $B_{Г2}$ – річна програма виготовлення та зміцнення за розробленою технологією.

Питомі капіталовкладення склали $k_1 = 30,85$ грн.; $k_2 = 30,27$ грн.

Собівартість відновлення C лапи визначали по наступній формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_m + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{i.в.}, \quad (4.4)$$

де $C_{з.п.}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі відновлення, грн.;

C_m – витрати на використанні при відновленні матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$ – вартість ремонтного фонду з урахування витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$ – накладні витрати, грн.;

$C_{i.в.}$ – інші витрати, грн.

Собівартість однієї нової культиваторної лапи складає $C_1 = 390$ грн., а відновленої $C_2 = 126$ грн.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології складе:

$$E = [(390 + 0,15 \cdot 1,85) - (126 + 0,15 \cdot 1,27)] \cdot 1000 = 264000 \text{ грн.},$$

де $B_T = 1000$ – річний обсяг зміцнення лап.

Економічний ефект на одиницю продукції становить 264 грн.

Основні показники техніко-економічної ефективності зміцнення стрілочастих культиваторних лап наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної ефективності	Значення показників	
	Існуюча технологія виготовлення	Розроблена технологія відновлення
1. Річний обсяг виготовлення і відновлення лап, грн.	1000	1000
2. Собівартість однієї лапи, грн.	390	126
3. Собівартість комплексу лап, грн.	5850	1890
4. Питомі капітальні вкладення, грн.	30,85	30,27
5. Річний економічний ефект, грн.		264000
6. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.		264

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення технології карбовідробугового зміцнення є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналізу умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Вартість однієї стрілчастої лапи, зміцненої по розробленій технології складе 126 грн. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 264000 грн. при річному обсязі впровадження 1000 деталей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що напруженість E електричного поля при КВДЗ залежить від товщини шару затверділої металокерамічної пасти. Найбільша товщина покриття (0,9...1,0 мм) досягається при товщині шару пасти 2,2...2,3 мм.

2. Основний вплив на мікротвердість металокерамічних покриттів спричиняють керамічні компоненти пасти. При цьому зі збільшенням вмісту їх в складі пасти мікротвердість покриття також зростає. Найбільш високу мікротвердість (на поверхні покриття вона досягає 1110...1120 HV, а на межі з основним металом – 790...795 HV) мають покриття, отримані з використанням пасти, що містить 60% матричного порошку ПГ-10Н-01, 30% карбиду бору і 10% кріоліту на наступних режимах: сила струму – 75А, частота коливань вугільного електрода – 25 Гц, амплітуда коливань вугільного електрода – 0,5 мм. При цьому мікротвердість зміцненого основного металу при використанні даної пасти становить в середньому 580...620 HV.

3. Лабораторними випробуваннями на зношування встановлено, що найбільший середній знос (0,47 г) мають незміцнені еталонні зразки зі сталі 65Г. Зразки, зміцнені КВДЗ, мають значно менший знос.

4. Вартість однієї стрілчастої лапи, зміцненої по розробленій технології складе 126 грн. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 264000 грн. при річному обсязі впровадження 1000 деталей.