

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: «Дослідження зносостійкості та надійності використання швидкоріжучої
сталі у конструкції тримерів для худоби»

КРМ 133ГМмд_23.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти магістр
групи 133ГМмд_23
САУКІН Вадим
Керівник: докт. техн. наук, доцент
ВЕТОХІН Володимир

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Мета цієї роботи полягала в тому, щоб оцінити швидкорізальну сталь для використання в конструкції машинок для стрижки овець, щоб визначити, чи виправдане її використання з точки зору продуктивності роботи.

За фактичних умов експлуатації було визначено три різні режими зношування гребінця: пошкодження від ударів у результаті захоплення твердих частинок, захоплених ворсом, між краями ріжучих елементів; абразивне зношування ріжучих кромки ріжучих елементів за рахунок твердих частинок, захоплених ворсом, що переміщуються над ріжучими кромками; тристороннє зношування зашліфованих поверхонь гребінця та ріжучого інструменту внаслідок потрапляння волокнистого бруду між поверхнями контакту гребінця та ріжучого інструменту під час роботи.

Попередні працівники пояснювали несправність різання округленням ріжучих країв. На відміну від цього, рівні округлення країв, які спостерігалися під час польових випробувань, виявились недостатніми для припинення різання. Встановлено, що основною причиною припинення різання є неплоскі зміни контактних поверхонь гребінця та різача, здебільшого через знос трьох частин.

Лабораторний випробувальний пристрій для зносу, який імітує робочі умови в наконечнику для стрижки, але використовує тестові зразки простої геометрії, був розроблений, виготовлений і використаний для тестування ряду потенційних матеріалів для гребінців і ножів.

З протестованих матеріалів комбінація, яка досягла найменшої втрати маси через знос, була пара швидкорізальної сталі M2, покрита TiN за допомогою процесу CSIRO FADS™. Пара, яка показала найнижче підвищення температури під час випробування, була високошвидкісною сталлю, обробленою при мінусовій температурі порошкової металургії (Böhler S390™), і зразком, взятим із комерційно доступного ріжучого інструменту (DIN100Cr6).

Було виявлено, що звичайна швидкорізальна сталь M2 забезпечує кращу зносостійкість при використанні для машинок порівняно з поточною високовуглецевою низьколегованою сталлю. Наявність агломерацій первинних

карбідів типу МС і М6С може пояснити спостережувані руйнування кінчиків зубів машинок, виготовлених із швидкорізальної сталі М2. Однорідна тонка мікроструктура та продемонстрована зносостійкість досліджуваної високорізальної сталі порошкової металургії зробили її кращим вибором для використання в конструкціях стрижучих машинок.

Вовняна промисловість є значним ресурсом в економіці України. Кожна з цих тварин обстригається обладнанням, яке мало змінилося за останні 100 років щодо дизайну та матеріалів. Незважаючи на обширні дослідження, проведені в 1970-х і 80-х роках, спрямовані на вдосконалення обладнання для стрижки овець, мало корисних інновацій потрапило до кінцевих користувачів. З поштовхом до підвищення продуктивності, покращенням гігієни та безпеки праці та розробкою напівавтоматичного обладнання для обробки овець, удосконалення процесу збирання вовни є важливим [1].

Інструментом стригалів для збирання шерстної вовни є наконечник для стрижки. Ріжучі елементи вовни, встановлені на наконечнику, підтримуються в тісному контакті наконечником, а рухомий елемент (різак) переміщується через фіксований елемент (гребінець) через зовнішній привід. Як правило, різак має чотири зуби трикутної форми, виготовлені з високовуглецевої сталі, загартованої до 63HRC. Гребінець зазвичай виготовляється з високовуглецевої низьколегованої інструментальної сталі, загартованої до 62HRC. Зазвичай він має 13 тонких зубців шириною не більше 0,35 мм на кінчику, щоб він міг вільно входити між волокнами вовни, що прилягають до овечої шкіри. Гребінець прикріплюється до наконечника під час стрижки. Коли стригаль пересуває наконечник крізь вовну, нижня сторона гребінця лежить на шкірі тварини, тоді як різак проходить по верхній поверхні гребінця, розрізаючи волокна вовни.

Гребінець і різак потребують періодичного шліфування, щоб відновити контактні поверхні та підтримувати ріжучу дію. Інтервал між заточуваннями зазвичай становить від двох до 10 овець для різача і від чотирьох до 20 овець для гребінця в залежності від умов, що склалися. Шліфування зазвичай виконується за допомогою спеціально сконструйованої машини, яку використовує або шерстяник, або стригаль. «шліфувальник ножиці» зазвичай складається з двополюсного

асинхронного двигуна змінного струму потужністю 0,75 кВт, на кожному кінці якого встановлено металевий диск номінальним діаметром 350 мм. У найбільш звичайній компоновці робоча поверхня диска не є плоскою, а по суті є тупим конусом з кутом 179° . Наждачний папір з оксиду алюмінію прикріплюється до робочої поверхні диска. Як правило, різак стриже приблизно 500 овець, а гребінець – 1000, перш ніж зменшення товщини в результаті шліфування зробить їх непридатними для використання. Зміна ріжучих елементів зменшує кількість продуктивного часу в день для стригалі. Це не є основною проблемою для звичайного стригання, але розглядається як зниження ефективності напівавтоматичного стригання. Якщо ріжучі елементи не змінюються з достатньою частотою, ріжуча дія порушується, сприяючи випадковому порізу шкіри тварини. Неefективне різання вимагає додаткових фізичних зусиль з боку стригалі та зазвичай викликає страждання тварини через опіки шкіри та вищипування волокон. Це призводить до того, що стригаль має труднощі з утриманням тварини в правильному положенні для стрижки, що збільшує ризик травмування як тварини, так і стригалі.

Метою цього проекту було дослідити знос ріжучих елементів, виготовлених із звичайних матеріалів і оцінити деякі матеріали, які досі не використовувалися для цієї функції. Обсяг оцінки матеріалів включав три досліджувані матеріали для використання в якості конструкційних матеріалів машинки для стрижки.

Задачами цього дослідження є:

1. Перевірити знос стандартних машинок після використання.
2. Дослідити основні причини зносу гребінців і різців і описати спостережуваний процес.
3. Дослідити, чому машинка для стрижки перестає стригти.
4. Дослідити вплив шорсткості поверхні на ріжучу здатність і тривалість безвідмовної роботи машинки.
5. Розробити методику лабораторних випробувань на знос, які дозволять оцінити пари матеріалів в умовах, що максимально «наближають» до фактичних умов, що знаходяться в машинці для стрижки.
6. Оцінити придатність альтернативних матеріалів для конструкції машинки.

РОЗДІЛ I. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ, ЩО СТОСУЮТЬСЯ ВИКОРИСТАННЯ ШВИДКОРІЖУЧОЇ СТАЛІ У ТРИМЕРАХ

1.1. Вплив сорту шерсті

Волокна вовни складаються з довгих клітин у формі тріски, щільно з'єднаних між собою в дермальних фолікулах. В цілому вони схожі на волосся інших ссавців тільки у овець це називають вовною. Більшість овець, які мають значення для вирощування вовни, мають шерсть, яка постійно росте і не линяє природним шляхом. Розташовані безпосередньо під поверхнею шкіри, фолікули живляться кров'ю, і їх можна класифікувати на два різних типи: первинні фолікули – з тісно пов'язаними потовими залозами та малим м'язом фолікула; вторинні фолікули – без тісно пов'язаних потових залоз.

Обидва типи фолікулів мають воскову (сальну) залозу. Ідеалізоване вовняне волокно зазвичай має зовнішню оболонку з кератинових лусочок, що оточують пучок кератинових волокон (рис. 1).

Рисунок 1. Конструкція ідеалізованого вовняного волокна (за Д'Арсі 1972)

Більшість промислових порід вовни овець стрижуть з інтервалом у дванадцять місяців, довжина скоби коливається від 40 мм для старого стилю, супертонкого меринуса до 300 мм для добре вгодованих лінкольнів. Діаметр

волокна варіюється від 19 до 38 мкм. Мериносове ягня при народженні може мати 15-20 мільйонів волокон у вовні. У віці 12 місяців це збільшиться до 60-100 мільйонів. Щільність волокон коливається від 10 000 до 16 000 /см² при народженні до 5500-10 000 /см² у дорослої вівці [2].

При першому стриженні зі спини вівці сира вовна може містити менше 50% чистого волокна. Залишок ваги складається з вовняного воску, костюму (засохлого поту), піску, бруду та рослинних речовин. Разом вовняний віск і костюм зазвичай складають від 20 до 50% ваги шерсті [3]. Незважаючи на те, що кількість вовняного воску, мастила та бруду цитується низкою авторів, жодних ознак зміни концентрації вздовж волокна не надається. Було б розумним припустити, що в той час як концентрація воску (міцного та водостійкого) була б досить рівномірною вздовж волокна, концентрація суїнту (водорозчинного) може зменшуватися до кінчика волокна, а концентрація бруду зростати до наконечнику волокна через збільшення контакту з навколишнім середовищем.

Мало опублікованої інформації щодо змащувальних властивостей вовняного воску, хоча [4] детально описує ряд застосувань вовняного воску як ефективного мастила при екструзії та прокатці чорних і кольорових металів. Механізоване різання найчастіше виконується за допомогою машинки, як показано на рис. 2.

Рисунок 2. Звичайний наконечник для стрижки з хомутами («курячими лапками») і натяжною гайкою для забезпечення необхідного контактного навантаження між гребінцем і різцем.

Обертальний рух подається до наконечника через систему напівжорстких валів і шестерень, що дозволяє стригалю маніпулювати наконечником навколо тіла вівці. Стандартна швидкість приводу наконечника становить 3250 обертів за хвилину. За кожен оборот приводного вала різець робить 19 мм радіальний рух по поверхні гребінця і назад. Швидкість і прискорення різця мають синусоїдальний характер. Необхідне контактне навантаження між гребінцем і ножом значною мірою залежить від якості шліфування гребінця та ножа, ступеня зносу контактних поверхонь гребінця та ножа, стану наконечника, характеру шерсті та стригального інструменту. Нормальне контактне навантаження становить близько 200 Н, а для зношених гребінців і ножів повідомляють про навантаження до 350 Н [5].

Традиційно матеріалами, що використовуються для гребінця та фрези, є високовуглецева інструментальна сталь, загартована та відпущена до 650–750 Нv [6]. Намагаючись визначити причини припинення розриву вовни, кілька дослідників досліджували знос гребінців для стрижки та ножів. Ця робота мала форму як лабораторних тестів, так і польових випробувань [5 – 8].

На рис. 3 показано заокруглення ріжучих країв і поглиблення гребінця після використання. Вважалося, що це пошкодження спричинене твердим матеріалом, присутнім у шерсті, який переноситься в зону різання. Хоча всі дослідники вказували, що твердим матеріалом є кварц, а іноді кварц і пірофіліт, немає вказівок щодо того, як це було встановлено. Жодних вказівок щодо фактичного діапазону розмірів твердих частинок не надано, хоча [8] припускає, що частинки потрапляють у діапазон від 25 до 125 мкм.

Виявлено неплоске зношення на краях зубців гребінки (рис. 3), на шліфованій грані. Незважаючи на цей висновок, стверджується, що припинення різання повинно відбутися через округлення ріжучих країв. [6] та інші також пропонують теоретичні моделі припинення різання, пов'язані із закругленням ріжучих країв. Жоден із дослідників не повідомляє про експериментальні роботи для підтвердження цих моделей. Ті ж автори вказують, що припинення стрижки може бути наслідком комбінації механічного відхилення зубів гребінця та ріжучого інструменту та округлення ріжучих країв.

Рисунок 3. Зліва вгорі: задирки на краю зуба гребінця після шліфування (X500). Внизу ліворуч: задирки на краю гребінця після роботи протягом 65 секунд (X500). Праворуч угорі: пошкодження ріжучого краю зуба гребінця після стрижки п'яти овець (X5000). Внизу праворуч: абразивний знос контактної поверхні зуба гребінця після стрижки п'яти овець (X5000).

Проведена робота показала [4], що швидкорізальна сталь M2 служила довше між заточуваннями, ніж стандартна високовуглецева сталь, яка використовується для машинок стрижки. Результатом роботи Міллера стало патентування використання швидкорізальної сталі M2 у гребінцях для стрижки (Австралійська організація з дослідження та просування вовни, 1997 р.).

Попередня робота, проведена у [9], показала, що деякі зуби гребінця M2 іноді ламаються приблизно на 1,5 мм від кінчика під час використання. Через це було розроблено процедуру пом'якшення кінчиків гребінок зі швидкорізальної сталі M2, щоб зменшити частоту виходу з ладу. Процедура передбачає занурення кінчиків зубів гребінця на глибину від 4 до 5 мм у ванну з нейтральною сіллю при температурі 760-770 °C на 20 секунд. Це призводить до твердості на кінчику зубця гребінця приблизно 54HRc з поступовим переходом до твердості гребінця після термічної обробки за межами цієї області.

1.2. Феномен зносу інструментальної сталі

[10] продемонстрували, що тертя без змащення між металевими поверхнями можна пояснити локалізованим зварюванням контактуючих нерівностей. Коли відбувається ковзання, потрібна робота по розрізанню цих зварних з'єднань і обробці поверхонь у точках контакту. Вони дійшли висновку, що температури, створювані тертям під час ковзання, були достатніми, щоб викликати локальне плавлення поверхні, і що для деяких матеріалів існує пряма кореляція між температурою розм'якшення або плавлення та зносостійкістю. Їхня робота також продемонструвала, що ефекти тертя не обмежуються лише поверхнею, а викликають спотворення та деформацію на велику глибину.

Вони запропонували чотири різні сценарії зносу. Якщо металеве з'єднання, утворене в точках контакту, слабше, ніж основні метали, то зсув відбудеться на фактичній поверхні розділу, де утворюється з'єднання. Наведено приклад ковзання сплаву на основі олова по сталі, де коефіцієнт тертя становить $\mu=0,7$, але кількість сплаву на основі олова, розмазаного по сталі, є дуже незначною навіть після інтенсивного тертя. Вони дійшли висновку, що цей тип з'єднання зазвичай утворюється за наявності міцних поверхневих плівок, таких як оксиди, сульфіді або хлориди.

Якщо з'єднання міцніше, ніж один із металів, зсув може статися в об'ємі слабшого матеріалу, залишаючи фрагменти, що прилипають до твердішого металу. За цих умов швидкість зношування може бути високою, навіть якщо коефіцієнт тертя спочатку такий же, як у випадках, коли відбувається невелике зношування. Наведено приклад ковзання сплаву на основі свинцю по сталі. Оскільки шар м'якшого металу накопичується на більш твердій поверхні, досягається стан, коли ковзання є характерним для подібних металів із відповідним збільшенням тертя та швидкості зношування.

Якщо з'єднання є міцнішим за обидва метали, зсув, як правило, відбуватиметься в об'ємі слабшого металу, але час від часу траплятиметься й у міцнішому металі. Це призведе до значного видалення більш м'якого металу, а також до невеликого, але кінцевого видалення більш твердого металу під час

ковзання. Наведено приклад ковзання міді по сталі 600Hv, де частини твердої сталеві поверхні були відірвані лише після відносно короткої відстані ковзання.

У кінцевому сценарії [10] розглядають поведінку подібних металів. З'єднання, утворені в процесі деформації та зварювання, зазвичай твердіші за будь-який із металів, у результаті чого частинки відриваються від обох поверхонь. Через ці механізми дійшли висновку, що прямого зв'язку між тертям і зносом не буде знайдено.

Основною передумовою за [10] є пластична деформація та адгезія контактуючих нерівностей. У [11] роблять припущення, що хоча початковий контакт може бути пластичним, цей початковий контакт не обов'язково може призвести до видалення металу з поверхні. Тоді [11] припускає, що подальший контакт між цими нерівностями є еластичним. Автор робить висновок, що це відповідає спостережуваній моделі переважної більшості нерівностей контактів у інженерних додатках, які не призводять до зносу чи пошкодження.

[12] запропонував чотири основні механізми зношування: стирання, адгезію, корозію та втому. Теорія абразивного зношування припускає, що кожен абразивний елемент настільки гострий, що врізає протилежну поверхню. Припущення, закладене в цій теорії, полягає в тому, що матеріал, який відповідає площі індентора, спроектованої в напрямку руху, видаляється, залишаючи канавку. На практиці це трапляється лише зрідка. Випробування з простими інденторами показують, що матеріал часто орається і не видаляється, залишаючи зміщений матеріал накопичуватися з боків борозни. [13] досліджували видалення металу стиранням і дійшли висновку, що з абразивним папером лише близько 10% абразивних зерен мають передній або передній кут, що сприяє різанню. Залишок піску, як припускають, стирається без видалення матеріалу.

Теорія втомного зношування розглядає зношування, пов'язане з втомою, на двох рівнях: макроскопічному та мікроскопічному. Кажуть, що макроскопічна форма проявляється в невідповідних елементах машини у вигляді кочення або контактної втоми, мікроскопічна форма з окремими нерівностями контактів. [11] припускає, що втомне зношування відбувається в результаті герцівських напружень,

нормальних до контактної поверхні, тоді як [14] враховує сили, як тангенціальні, так і нормальні до контактних поверхонь у теорії розшарування зношування.

Теорія корозійного зношування враховує поверхневі плівки, які виникають на більшості металів через контакт із навколишнім середовищем, причому найпоширенішою з цих плівок є оксидна природа. Як правило, оксидна плівка крихка і має низьку міцність, що робить її чутливою до пошкоджень. Оскільки плівка поступово видаляється через стирання, адгезію або втому, підкладка може регенерувати, дозволяючи процесу продовжуватися. [15] стверджує, що постійне видалення та регенерація корозійного шару значно підвищує швидкість зношування [11]. [16, 17] запропонував модель термомеханічного зношування. Їхня модель враховує поле термічного напруження та зміну механічних властивостей, пов'язану з локалізованим нагріванням в результаті тепла, що виділяється тертям від рухомого контакту з нерівностями.

Ряд дослідників побіжно згадує про наявність «третьох тіл», що утворюються або в результаті процесу зношування, або надходять в зону контакту ззовні. [18] стверджує, що знос трьох частин, ймовірно, є відповідальним за найбільший рівень зносу промислового обладнання. У [19] досліджували вплив розміру частинок третього тіла на швидкість зношування для низки матеріалів і виявили, що для їхніх експериментальних умов швидкість зношування поступово знижувалася для розмірів частинок до 5-10 мкм. Нижче цього розміру спостерігалось швидке зростання швидкості зносу. У [20] заявляється про важливість взаємодії третіх тіл у процесах зношування та детально описуються труднощі, пов'язані з розумінням ролі третіх тіл.

1.3. Засоби збільшення зносостійкості

«Закон Арчарда» забезпечує зв'язок між твердістю вдавнення (H), відстанню ковзання (L), нормальним навантаженням (W), зношеним об'ємом (V) і безрозмірною постійною Арчарда (K) (1).

$$\frac{V}{L} = K \frac{W}{H} \quad (1)$$

Виходячи з цього співвідношення, в [11] стверджується, що високе значення твердості є корисним для зменшення зносу. Це було підтверджено експериментальною роботою, проведеною для ряду чорних і кольорових металів. У [21] однак, було виявлено, що твердість не обов'язково є основним визначальним фактором зносостійкості, повідомляючи, що під час випробувань на сухе стирання сталь AISI 15B37H при 21HRc показала більшу зносостійкість, ніж той самий матеріал при 41HRc. Вони пояснили це відкриття термічним розм'якшенням у зоні контакту більш твердого матеріалу [11, 21].

У [22] було виявлено, що для валків із швидкорізальної сталі зносостійкість пов'язана з об'ємною твердістю, типом карбіду, морфологією карбіду, об'ємною часткою карбіду, розподілом карбіду та об'ємом дрібних виділень карбідної матриці. Вони прийшли до висновку, що висока зносостійкість найкраще забезпечується шляхом збільшення частки карбідів типу MC за рахунок збільшення вмісту ванадію. Подібний результат був отриманий у [23], які виявили, що у випробуваннях на стирання двома та трьома частинами швидкорізальних сталей порошкової металургії з SiO₂ існувала позитивна кореляція між збільшенням первинної об'ємної частки карбіду MC та зносостійкістю. [24] наводить типові значення твердості для карбідів MC і M₆C як 3000 і 1500 HV_{0.02} відповідно.

[25] прийшли до висновку, що швидкорізальна сталь порошкової металургії має подібні властивості до зношування, як і звичайна швидкорізальна сталь такого ж складу. Вони коментують, що виготовлення методом порошкової металургії дозволяє виробляти більш високолеговані та зносостійкі сталі без таких проблем, як сегрегація та смуги, які шкодять механічним властивостям подібного складу, звичайних швидкорізальних сталей. [24] стверджує, що швидкорізальна сталь порошкової металургії може мати нижчу в'язкість до руйнування, ніж звичайна швидкорізальна сталь того самого складу через зменшену відстань між карбідними частинками в матриці, що обмежує пластичну зону перед тріщиною, що поширюється. Автор робить висновок: «вище 60HRc в'язкість до руйнування є суто властивістю матриці». Роблячи це, автор, здається, не помічає впливу первинної морфології карбіду на об'ємні властивості звичайних швидкорізальних сталей.

Зносостійка обробка поверхні поділяється на три основні категорії:

М'які покриття – забезпечують захист, запобігаючи зчепленню між основами. У покритті відбувається зсув, що зменшує тертя та усуває нерівності підкладки. Приклади включають покриття з MoS_2 , графіту та полімерів.

Поверхневі речовини – змінюють поверхню, щоб або зробити її твердішою, або створити більш зносостійкий сплав на поверхні. Приклади включають азотування, цементацію та борування.

Важкі покриття заміни поверхні – такі покриття не модифікують оригінальну поверхню, а замінюють її іншою, більш стійкою до зношування. Приклади включають металеві покриття, нанесені методом зварювання, керамічні та металеві покриття, нанесені полум'яною дугою або плазмовим напиленням, покриття, нанесені PVD та CVD, електроосаджені покриття [26].

[27] досліджували покриття поверхні, зазначені в таблиці 1, при нанесенні на гребінці та різці. Для всіх нанесених покриттів необхідно було повторне шліфування перед тестуванням. Це призвело до того, що нанесене покриття було видалено з контактних поверхонь гребінця/різака, залишивши покриття лише на сторонах, які не контактують. Цементовані зразки потребували дошліфування після термообробки. Твердість поверхні після повторного шліфування була значно нижчою, ніж твердість невідшліфованої поверхні зі значеннями від 719 до 791 Hv до шліфування, у порівнянні з 449 до 651 Hv після шліфування. Навантаження на вдавнення при тестуванні на твердість не вказано. Стандартні гребінці та фрези використовували під час випробування як контроль. Покриті гребінці та ріжучі ножі не дали жодних переваг порівняно з контрольною групою щодо кількості стриженних овець (табл. 1) [27].

Автори [28] досліджували зміну зносостійкості стрижучих гребінців і ріжучих інструментів, наданих імплантацією іонів азоту, покриттями WC HVOF (високошвидкісне кисневе паливо) і FARE (повторюваний вибух паливо-повітря) і покриттям з реактивним напиленням TiN. Вони не змогли випробувати гребінці з імплантованими іонами азоту через спотворення, яке відбулося під час імплантації. Покриття WC не випробували в польових умовах через термічну деформацію, яка мала місце під час процесу нанесення покриття. Повідомлялося про збільшення

зносостійкості гребінця з покриттям TiN, а також спостережене збільшення швидкості зношування різців, які використовуються разом із цим гребінцем.

Таблиця 1. Дані концентрацій досліджуваних газів при калібрування пристрою

Опис покриття	Специфікація / процес	Різець / гребінець	Стрижених овець
покрито канігеном	Безелектричне нікелеве покриття товщиною 20 мкм, термооброблене.	різець гребінець	7 7
Ni / алмазне покриття	Композитне покриття товщиною 50 мкм, термооброблене.	різець	11
борне електронікелеве	Термічно оброблений товщиною 12,5 мкм	різець гребінець	7 7
Ni / SiC	Композитне покриття товщиною 50 мкм, термооброблене.	різець	8
карбід вольфраму	Напилюваний полум'ям	різець	8
цементована м'якої сталі	Загартовано, погашено і витримано. Цементовано повністю	різець	9
м'яка сталь, цементована газом	Загартовано, погашено і витримано. Цементовано повністю	різець	2 3/4
М'яка сталь, загартована ціанідом	Загартована водою, глибина корпусу 0,4-0,6 мм	різець	2 1/4
Контроль	Стандартні, комерційно доступні вироби	різець гребінець	20 10-11

Автори [29] запропонували застосувати імплантацію іонів азоту до передніх поверхонь стрижних гребінців для підвищення зносостійкості, але не змогли цього зробити через труднощі з обладнанням. Було нанесено покриття WC-Co на гребінці для стрижки, використовуючи процес D-Gun від Union Carbide. Вони зафіксували підвищення зносостійкості порівняно зі стандартними гребінцями, але повідомили про несправність покриття під час польових і лабораторних випробувань через втому. У роботі [30] досліджували вплив мінусової термічної обробки на низку чорних сплавів. Вони прийшли до висновку, що криогенна обробка загартованої та витриманої інструментальної сталі W1 збільшила зносостійкість, виміряну за допомогою тесту на стирання в сухому стані. Три з досліджених матеріалів були протестовані в «стані поставки»; AISI 1020, запатентована сталь 0,23% C 0,26% Si та 0,8% C сталь. Вони заявили, що причиною проведення криогенної обробки було

перетворення залишкового аустеніту. Незрозуміло, чому вони обрали ці три матеріали, оскільки вони навряд чи міститимуть аустеніт. Вони спостерігали збільшення твердості 4%Ni Nihard заліза та 28%Cr білого чавуну, але дійшли висновку, що не було кореляції між підвищенням твердості та стійкістю до стирання. Для запатентованої сталі 0,23% C, 0,26% Si та білого чавуну 28%Cr повідомлялося про зниження зносостійкості після обробки.

Автори [31] прийшли до висновку, що криогенна обробка підвищила стійкість інструментальної сталі AISI D2 до абразивного зношування вологої суміші. Вони дійшли висновку, що час перебування при мінімальній температурі є важливим, рекомендувавши мінімальний час витримки при температурі 24 години.

Автори [32] досліджували вплив глибокої криогенної обробки на твердість, міцність і ударні властивості швидкорізальної сталі AISI T1 і M2. Вони прийшли до висновку, що обробка при низькій температурі спричинила перетворення залишкового аустеніту на мартенсит. Вони також прийшли до висновку, що при криогенних температурах відбувається деяке часткове розкладання мартенситу. При нагріванні до кімнатної температури атоми вуглецю продукту розкладання відокремлюються на поверхнях подвійних кристалів та інших дефектах, утворюючи дрібні (діаметром 2,6 – 6 нм) карбіди. Збільшення червоної твердості та міцності на вигин пояснюється низькотемпературною обробкою. Оцінка зносостійкості після обробки не проводилась.

1.4. Висновки за розділом. Мета і завдання дослідження

Оглянута література підкреслила складність отримання даних про знос, які були б універсальними у своєму застосуванні. Під час розглянутих лабораторних тестів на знос результат іноді був непередбачуваним і його нелегко пояснити за допомогою стандартних моделей зносу. Природа зносу в більшості ситуацій «реального життя» вимагає, щоб задіяні процеси пояснювалися інтерпретацією спостережуваних результатів після події. Жодна з розглянутих робіт не використовувала методи, які б уможливили пряме спостереження в режимі реального часу контактної поверхні металевих об'єктів у відносному русі на мікроскопічному рівні.

Попередні польові випробування на знос стрижних гребінців і ножів були змінними, а результат залежав від факторів поза контролем дослідників. Процес зрізання залежить від ряду змінних – біологічних, кліматичних, географічних, механічних і людських – результати часто суб’єктивно оцінюються тими, хто бере участь або спостерігає. Переваги стандартизованого тесту на знос для стрижних гребінців і ножів не досліджувалися. Багато в чому література викликає більше запитань, ніж дає відповідей.

Таким чином метою цього дослідження було дослідити знос ріжучих елементів, виготовлених із звичайних матеріалів і оцінити деякі матеріали, які досі не використовувалися для цієї функції. Обсяг розглядуваних матеріалів включатиме три матеріали, досліджені на предмет використання в якості конструкційних матеріалів машинки для стрижки.

Задачами цього дослідження є:

1. Перевірити знос стандартних машинок після використання.
2. Дослідити основні причини зносу гребінців і різців і описати спостережуваний процес.
3. Дослідити, чому машинка для стрижки перестає стригти.
4. Дослідити вплив шорсткості поверхні на ріжучу здатність і тривалість безвідмовної роботи машинки.
5. Розробити методику лабораторних випробувань на знос, які дозволять оцінити пари матеріалів в умовах, що максимально «наближають» до фактичних умов, що знаходяться в машинці для стрижки.
6. Оцінити придатність альтернативних матеріалів для конструкції машинки.

РОЗДІЛ II. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Попередні польові роботи

Оскільки жодна з літературних джерел не цитує типові діапазони зносу кромки зубів гребінця для стрижки, використовуваний гребінець був розділений на секції, щоб можна було виміряти форму та ступінь округлення країв, які трапляються на практиці. Гребінець був бренду Sunbeam «Merino», який використовувався для стрижки і, на думку стригалів, був майже на момент припинення стрижки. Зрізи були взяті з трьох зубів, встановлені, відполіровані та сфотографовані за допомогою оптичного мікроскопа, щоб уможливити вимірювання профілю краю. Зразки досліджували в стані без травлення, щоб забезпечити хороший контраст між зразком і монтажним матеріалом. Щоб уможливити масштабування фотографій, ширину огляду вимірювали скляною сіткою. Дивіться фотографії 3.1 і 3.2.

Фотографія 3.1 Мікрофотографія розрізаного зуба гребінця, на якому видно заокруглення краю з приблизним радіусом 15 мкм. Заокруглення країв сталося внаслідок зносу. Розріз, взятий на відстані 8,5 мм від кінчика зуба номер 4.

Фотографія 3.2 Мікрофотографія розрізаного зубця гребінця, на якому видно заокруглення краю з приблизним радіусом 4 мкм. Зріз зроблений на відстані 9 мм від кінчика зуба номер 6.

Для проведення польових вимірювань заокруглення краю внаслідок зносу гребінця та ріжучого зуба стереобінокулярний мікроскоп був оснащений пристроєм для утримання покривного скла мікроскопа між лінзою об'єктива та краєм, що досліджується. Дивіться фото 3.3. Гребінець або різак розміщують на предметному столику мікроскопа плоско, покривне скло розташовують так, щоб охоплювати половину поля зору. Обертаючи покривне скло навколо осі, перпендикулярної до напрямку огляду та паралельної краю зуба, одна половина спостережуваного зображення зміщується вбік. Маленьке світло, розташоване над зубом гребінця, призводить до того, що відполірований, потертий край гребінця або зубця ріжучого інструменту виглядає як біла лінія обмеженої ширини. Щоб здійснити вимірювання ступеня округлення країв, покривне скло повертають на кут, достатній для того, щоб зображення було зміщено на ширину білої лінії.

Фотографія 3.3 Бінокулярний мікроскоп, оснащений поворотним склом і рухомим джерелом світла, який використовується для вимірювання округлення країв використаного гребінця під час польових випробувань у Мурамонгу, поблизу Скіптона, Вікторія.

Вимірюючи кут нахилу покривного скла та знаючи його товщину, відстань зміщення зображення d , як показано на рис. 3.1 можна розрахувати наступним чином:

Рис. 3.1 Зв'язок між падаючим і заломленим світлом, що проходить через покривне скло, і зміщенням « d » світлового променя.

Взявши показник заломлення скла $n=1,55$ [33].

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (2)$$

Товщина покривного скельця мікроскопа, яке використовувалося під час роботи, становила 0,165 мм. Точність вимірювання перевіряли перевіркою радіуса дроту діаметром 130 мкм і скловолокна діаметром 10 мкм. Діаметр дроту та скловолокна було підтверджено за допомогою інвертованого столичного мікроскопа Reichert, оснащеного мікрометричним предметним столиком і сіткою окуляра. Було проведено вимірювання радіуса кромки зубів гребінки, що використовується для розрізання та кріплення для фотографій 3.1 та 3.2. У всіх випадках радіуси, виміряні за допомогою поворотного скла, корелювали з фактичними значеннями в межах 10%. Оскільки радіуси, що спостерігаються на зубцях гребінця, не є рівномірними по довжині зуба, і оскільки методика була призначена для визначення розміру радіуса, а не для абсолютного вимірювання, цей ступінь точності вважався достатнім.

Протягом двох днів, гребінці, загострені з використанням трьох різних типів техніки шліфування, було випробувано та проведено ряд вимірювань ступеня заокруглення країв зубів гребінця та різця. Випробування проводилися під час звичайної стрижки за участю професійних стригалів, які працюють на Heather Contracting. Мета випробування полягала в тому, щоб визначити, чи викликав метод заточування значну різницю в довжині розриву (тобто час між необхідним заточенням) гребінця для стрижки, а також визначити ступінь зносу країв, виявленого на гребінцях і різцях за нормальної роботи умови. Інформація щодо порівняльних характеристик різних рівнів обробки поверхні також мала бути використана для визначення рівня обробки поверхні, необхідного для лабораторного випробування на знос.

Гребінці готували за допомогою однієї з наступних технік подрібнення:

Подрібнення за «промисловим стандартом» на новому шліфувальному папері з оксиду алюмінію зернистістю 40: бренд Sunbeam, довготривалий тип, встановлений на стандартний шліфувальний диск марки Lister, чавунний.

Притирка за допомогою обертового плоского мідного диска, завантаженого зернистістю 500 меш оксиду алюмінію та змащеного час від часу розбризкуванням води, щоб забезпечити дуже тонку обробку з хорошим контролем рівності поверхні.

Поверхнево відшліфовано за допомогою шліфувального круга з оксиду алюмінію, зернистості 46 зернистості, який встановлено на поверхнево-шліфувальному верстаті інструментального цеху, щоб забезпечити просте для повторення чисте покриття поверхні з хорошим контролем рівності.

Шорсткість поверхні перевіряли за допомогою приладу для вимірювання шорсткості поверхні Mitutoyo. Для всіх випробувань обробки поверхні використовувався стандартний наконечник Sunbeam, який, як відомо, був у хорошому стані.

Три «комерційно ідентичних» гребінця Botany Bay Longreach і 10 фрез Botany Bay Maxi-Cut були підготовлені для випробувань обробки поверхні.

Усі різці були відшліфовані зернистістю 80 зернистості шліфувального паперу з оксиду алюмінію бренду Sunbeam, довготривалого типу, встановленого на стандартний чавунний шліфувальний диск марки Lister.

Гребінець і різак були встановлені на наконечник і використовувалися до тих пір, поки стригаль не вважав, що різак припинив різати. На цьому етапі було встановлено інший різак, і використання продовжилася. Коли стригаль вважав, що гребінець перестав стригти, наконечник був повернутий для оцінки. На початку випробування та перед видаленням гребінця та різака з наконечника ріжучу пару перевіряли за допомогою щупа 38 мкм, щоб визначити, чи кінчики різака достатньо зношені, щоб щуп міг увійти між гребінцем і різак. на «п'яті» (крайній задній частині) різця.

Після видалення гребінця за допомогою стереобінокулярного мікроскопа, показаного на фотографії 3.3, було виміряно округлення краю в межах 1,5 мм від крайньої траєкторії різця.

Другий день у Mooramong був витрачений на вимірювання радіуса краю кожного другого зуба гребінця та кожного ріжучого зуба гребінця тестового стригаля наприкінці кожного проходу (для нашого тестувальника цикл складався з 25 овець). Перед зняттям із наконечника шість разів гребінець і різець перевіряли

щупом, щоб визначити приблизний зазор під п'ятою різця. Цю процедуру, за винятком вимірювання щупом, повторювали протягом чотирьох днів у Хіллсайді поблизу Арарату, штат Вікторія.

Задля ясності наведена нижче номенклатура використовується повсюдно для ідентифікації перевірених матеріалів.

O1 Високовуглецева, низьколегована інструментальна сталь, що відповідає AISI O1.

S390 Власна порошкова металургійна швидкорізальна сталь Bohler.

K190 Власна сталь порошкової металургії Bohler, аналогічна DIN 1.2380 X220CrVMo13 4.

D2 12% Cr інструментальна сталь, що відповідає AISI D2 (Bohler SC25).

Швидкорізальна сталь типу M2 57 6 5 2 відповідно до AISI M2 (Bohler S600), загартована та тричі загартована до 57HRc.

Швидкорізальна сталь типу M2 60 6 5 2 відповідно до AISI M2 (Bohler S600), загартована та потрійно відпущена до 60HRc.

Швидкорізальна сталь типу M2 63 6 5 2 відповідно до AISI M2 (Bohler S600), загартована та тричі загартована до 63HRc.

Швидкорізальна сталь типу M2 65 6 5 2 відповідно до AISI M2 (Bohler S600), загартована та потрійно загартована до 65HRc.

Stellite 100 Deloro, литий сплав Cr/W/C на основі кобальту.

TiN Нітрид титану наноситься за допомогою CSIRO FADS™ (осадження за допомогою дугового фільтра), процес PVD.

H13 Інструментальна сталь для гарячих робіт відповідно до AISI H13 (наприклад, Bohler W302)

Власна інструментальна сталь Calmax Assab Cr/Mo/V для холодної роботи.

SCM Стандартний матеріал фрези, аналогічний DIN 1.2067 100 Cr 6.

СІ Загартований та відпущений чавун Ni/Cr/Mo.

Суфікс СТ, що застосовується до позначення матеріалу, що вказує на матеріал, що підлягає термічній обробці після термообробки (наприклад, O1 СТ тощо).

На основі попередньої роботи компанія Lyons and Mackenzie Pty. Ltd вибрала діапазон матеріалів у таблиці 3.1 для виготовлення невеликої кількості гребінців для стрижки. Для гребінок типу M2 було обрано два рівні твердості, щоб дослідити відносну продуктивність цього типу сталі при «нормальній» робочій твердості 63HRc і зниженій твердості 57HRc. Кінчики гребінців зі швидкорізальної сталі M2 були пом'якшені відповідно до процедури, описаної в австралійській заявці на патент PP5457, 1998 (Lyons & Mackenzie Pty. Ltd. 1998).

Гребінці, виготовлені з матеріалів, перелічених у таблиці 3.1, використовувалися під час чотириденного випробування, проведеного в парку Роксбі поблизу Інверлі, штат Вікторія. Стандартні гребінці Botany Bay Longreach мали бути контрольними гребінцями, а фрези Botany Bay Maxi-Cut — стандартними стрижками. 36 стандартних, 1% вуглецевої сталі, фрез Maxi-Cut були перевірені на твердість, пронумеровані від 1 до 36 і відшліфовані приблизно до 3,5 мм товщини.

Шістнадцять гребінців були відшліфовані та випадково пронумеровані. Розпізнавальні знаки були видалені, наскільки це було можливо, щоб зробити суд сліпим.

Таблиця 3.1 Номери гребінок і типи матеріалів

Comb numbers	Material type	Source of manufacture	Nominal Hardness (HRc)
1, 4, 9	H13	<i>Lyons and Mackenzie</i>	56
5, 6, 18	Calmax	<i>Lyons and Mackenzie</i>	58
2, 3, 63	M2 63	<i>Lyons and Mackenzie</i>	63
11, 27, 15	M2 57	<i>Lyons and Mackenzie</i>	57
10, 12, 13, 62	1% plain carbon tool steel (Longreach brand comb)	<i>Botany Bay Imports & Exports</i>	62

Під час цього дослідження планувалося:

- Використовуйте три або чотири стригальні машини.
- Забезпечте стригальні машини дублікатами наконечників.

- Проінструкуйте стригалів і дозвольте кількагодинну тренувальну пробіжку, щоб створити впевненість.
- Видавати зважені гребінці та ножі з використанням випадкових чисел.
- Запишіть температуру гребінця на кінці кожної стриженої вівці на верхній частині гребінця.
- Стригалка для заміни наконечника та тестер для перевірки використаного гребінця «на місці» та проведення тесту «занурення» – на повношерстній овечій шкірі, намотуючи наконечник вручну, щоб визначити, де гребінець та різак фактично припинили стригти – перед зняття з наконечника.
- Записуйте кількість овець, стрижених при кожній зміні гребінця та фрези.
- Знову зважте гребінці та фрези до та після повторного заточування.
- Визначте ступінь зносу поверхні гребінця, спричиненого закругленням краю різця та зубів.

За кілька днів до початку стригачів повідомили про заплановане проведення суду. У цей час запасні наконечники були представлені стригальникам для оцінки та схвалені ними для використання.

У досліді використовувались три тримери. Спочатку стригли 570 овець-мериносів двома тримерами, використовуючи наші запасні наконечники на додаток до їхніх власних. Після короткого періоду використання обидва стригалі відмовилися від запасних наконечників і повернулися до власного обладнання. Був придбаний новий наконечник Heiniger щоб надати прийнятний запасний наконечник. Четвертий стригаль був включений до випробування з середини дня першого дня.

Наприкінці першого дня двоє стригалів відмовилися від ножів Maxi-Cut, стверджуючи, що овець важко стригти, а їхні власні ножиці працюють краще. Для цього було відібрано, пронумеровано та зважено 44 різакі, що належали стригальям (по 22). Їх витягували після кожного використання та зважували до та після подрібнення. Ці різці використовувалися протягом решти першого та всього другого дня. Протягом першого, другого та приблизно третього днів випробування двоє інших стригалів продовжували використовувати різакі Maxi-Cut, що постачалися.

На другий день випробування, після завершення балансу 570 овець мериносів, 300 ягнят було острижено, а потім невелике стадо з 50 мериносових овець. На третій день випробування було підстрижено 156 овець мериносів без милиць, а потім 36 овець, які раніше були на милицях. Опівдні третього дня стрижку змінили на мериноса. До кінця четвертої доби було підстрижено 321 погоду. Ці вівці були дуже «жорстокими», що призвело до відносно короткого терміну служби гребінця, якщо використовували будь-що, окрім гребінців M2. Стригалі на цьому етапі запам'ятали номери гребінців, які добре працювали, і, як наслідок, не захотіли використовувати жодні гребінці (включно з елементами керування), окрім тих, які виготовлені з швидкорізальної сталі типу M2.

Таблиця 3.2 Підсумок овець, стрижених під час випробування.

Location	Sheep type	Number shorn
Roxby South	Merino ewes	570
Roxby South	Merino lambs	300
Roxby South	Merino wethers	50
Roxby North	Merino ewes (uncrutchd)	156
Roxby North	Merino ewes	36
Roxby North	Merino wethers	321

Під час випробувань усі тестові гребінці та різці були відшліфовані Расселом Джексонем з Lyons and Mackenzie за допомогою шліфувальної машини, оснащеної стандартними профільними шліфувальними дисками та абразивним папером Sunbeam Long Lasting. Зернистість 40 використовується для гребінців і зернистість 80 для ножів. Для гребінчастого шліфування використовувався маятник із «контрольованою силою» (налаштований на 13 Н). Перед початком випробування та після використання гребінці та стрижки очищали щіткою з щетиною в теплом розчині мючого засобу, потім зважували та подрібнювали. Після шліфування їх знову очищали, повторно зважували та перевіряли на плоскість відносно шліфованої скляної поверхні. Усе зважування проводилося за допомогою електронних ваг із верхнім завантаженням із роздільною здатністю 1 мг.

Опівдні першого дня було виявлено, що більшість гребінців і кусачок Lyons і Mackenzie не були відшліфовані, щоб відновити «гострий край» усіх зубів. Після цього бінокулярний мікроскоп, показаний на фотографії 3.3, використовувався для перевірки всіх повторно заточених гребінців і різців, щоб переконатися, що вони

були відшліфовані для видалення всіх слідів зносу країв. Стригалі використовували обладнання, наявне в сараї для стригання, для подрібнення власних різців.

Коли це було можливо, після завершення стрижки кожної вівці температуру гребінця вимірювали за допомогою контактної термопари К-типу з швидкою реакцією, підключеної до ручного цифрового пірометра з можливістю утримання пікового значення.

Вимірювальна позиція, як правило, була біля кореня центральних зубців, з боку землі гребінця. До середини ранку четвертого дня кінчик термопари був пошкоджений, що унеможливило подальше вимірювання температури.

Після використання гребінці перевіряли, щоб визначити висоту кроку від незношеної частини на кінці зубів гребінця до плями зносу, спричиненої різакком. Це вимірювання проводилося за допомогою циферблатного індикатора з роздільною здатністю 1 мкм, встановленого на міцному сталевому кріпленні, тоді як гребінець, встановлений на регульованій платформі для вирівнювання, проходив під індикатором. Індикатор був оснащений кульковим наконечником діаметром 1,5 мм. Еталонною поверхнею був шматок листового скла товщиною 20 мм, накладений внапуск (фото 3.4). Вимірювання проводили на зубах гребінця T2, T4, T6, T8, T10 і T12. Деякі зі зношених гребінців і стрижок пізніше досліджували за допомогою SEM, приділяючи особливу увагу областям найбільшого зносу.

Фотографія 3.4 Налаштування, що використовується для вимірювання розміру кроку між зношеними та незношеними ділянками окремих зубців гребінця на ґрунтовій поверхні гребінця.

2.2. Аналіз бруду вовни

Попередньо перед розробкою лабораторного тесту на знос необхідно було отримати інформацію про розподіл частинок за розміром і основні види частинок, які зазвичай містять бруд, знайдений на вовні. Зразок приблизно 100 літрів мийних стоків було взято з лінії миття Австралійського органу з тестування вовни в Кенсінгтоні, Мельбурн. Стічні води збиралися безпосередньо з мийних чаш, коли першу промивну воду скидали для зливу. Типи вовни, які миють, і місце їх походження не вказано. Обсяг зібраних стоків становив приблизно 40 окремих зразків вовни. [34] надає типові змінні для першого миття процесу чищення, як:

Максимальна концентрація миючого засобу 2г/л

Максимальна температура прання 80 °С

Мінімальне співвідношення рідини до вовни 80:1

Максимальний час занурення 5 хв

Сорок літрів загального зразка випарювали при 98оС для видалення води. Вовняний жир видаляли екстракцією за Сокслетом з використанням петролейного ефіру. Фільтрат витримували на фільтрувальному папері 0,2 мкм, суспендованому в наперстку Сокслета.

Після екстракції розчинного матеріалу зразок був підготовлений для скануючої електронної мікроскопії шляхом притискання до двосторонньої провідної липкої стрічки та нанесення золотого покриття. Згодом цей зразок аналізували за допомогою енергетичної дисперсійної спектроскопії (EDS). Зверніться до рис. 3.2.

Рис. 3.2 Результати EDS-аналізу бруду, виділеного з рідини для чищення вовни. Золоті піки отримані від покриття, нанесеного на зразок.

Другий зразок пресували без подальшого подрібнення та аналізували за допомогою рентгенівської дифракції. Хоча EDS виявила присутність 10 елементів, рентгенівська дифракція показала, що основними видами частинок є кварц, а також присутній хлорид калію.

Лазерне визначення розміру частинок було проведено на третьому зразку вовняного бруду, щоб визначити діапазон присутніх розмірів частинок. Два зразки комерційно доступного силікатного порошку також піддалися лазерному вимірюванню частинок, щоб знайти синтетичний забруднювач, який порівнювався з екстрагованим вовняним брудом, для використання в лабораторних тестах на знос. Результати див. у Додатку 9.1. Зразок комерційно доступного кремнезему, який найбільше відповідав зразку вовняного бруду з точки зору розподілу частинок за розміром, був №300 кремнезему з «Steetley Quartz Quarry» компанії Commercial Mineral.

2.3. Ефект заокруглення краю зубів гребінця та форми його поверхні

Жоден із попередніх працівників не зміг чітко визначити причини припинення різання під час стрижки, хоча більшість припускали, що це пов'язано з «затупленням» ріжучих країв (див. розділ 2.1). Спостереження, проведені під час польових випробувань (таблиці 4.2-4.6), показали, що після припинення різання існував великий діапазон округлення краю зуба, що вказує на те, що не було конкретного граничного значення, при якому різання постійно припинялося. Щоб дослідити відносний вплив заокруглення краю зуба та викривлення поверхні ґрунту, як це спостерігалось під час польових випробувань, на наконечник, який, як відомо, був у хорошому робочому стані, був встановлений натяжний штифт з датчиком деформації. Після встановлення гребінця та різача, які були притерті до плоскості та перевірені на шліфованій скляній поверхні, номінальне навантаження було застосовано до різача під час середини ходу, а вихідний сигнал підсилювача тензодатчика перевірено та зафіксовано. Потім перевіряли продуктивність, коли різець знаходився на обох кінцях свого ходу та в проміжних положеннях, щоб переконатися, що гребінь перпендикулярний до осі руху різця.

Наконечник був перевернутий і утримувався в лещатах. Гирі, еквівалентні навантаженню 10 Н і 40 Н, були розміщені на ярмах (фото 2.2) з навантаженням, перпендикулярним до нижньої поверхні ярм, і записані показання.

Спочатку стандартний шліфований гребінець і фреза (Lister Magnum і Botany Bay Maxi-Cut) були встановлені на наконечник після перевірки плоскості за допомогою шліфованої скляної поверхні та чорнила. Повністю вовняну овечу шкіру мериноса розрізали на смужки шириною приблизно 7 мм. Одну щілину гребінця заповнювали шерстю зі смужки, а наконечник накручували вручну, щоб перевірити ріжучу здатність кожного зуба. Навантаження на штифт розтягування, необхідне для здійснення різання, змінювалося між стравоходами від 38 до 56 Н. Щоб отримати стабільніший результат, гребінець і ріжучий пристрій було видалено та натерто дрібним порошком оксиду алюмінію на плоскій мідній накладці, що обертається. Після притирки контактне навантаження, необхідне для різання, було повторно перевірено та виявилось, що постійно становить 9 Н.

Рівномірні радіуси наносили алмазним напилком на один край зубів T2, T3, T11 і T12, при цьому кожен зуб мав різний радіус. Радіуси вимірювали за допомогою стереобінокулярного мікроскопа, описаного в розділі 3.1. Мінімальне навантаження штифта розтягування, необхідне для різання, було зареєстровано для кожного із закруглених країв. Кожен тест проводився три рази, щоб перевірити узгодженість. Зуби гребінця T2, T11 і T12 були повторно перевірені після збільшення розміру радіуса краю.

Гребінець, який використовувався для перевірки ефекту округлення краю зуба, був видалений з наконечника. Плоский алмазний напилком використовувався для нанесення малокутової фаски на один гострий край зубів T11, T10, T9, T5 і T4. Величина розвалу «h» (рис. 3.4) була виміряна за допомогою одиниці, показаної на фотографії 3.4, за винятком того, що стилус із кульковим кінцем був замінений на сталеву грамофонну голку.

Після вимірювання величини застосованого вигину гребінець був встановлений на стрижучий наконечник. Одну щілину гребінця заповнювали шерстю зі смужки повністю вовняної шкіри мериноса шириною 7 мм, а наконечник

накручували вручну, щоб перевірити ріжучу здатність кожного зуба. Контактна сила, необхідна для різання, вимірювалася тричі для кожного модифікованого зуба.

Рис. 3.4 Деталь вигину торця.

2.4. Лабораторні випробування на знос

Щоб усунути біологічні, кліматичні, географічні, механічні та людські змінні, які зазвичай зустрічаються під час польових випробувань стрижних гребінців і ножів, і щоб уникнути трудомісткого та дорогого процесу створення точних і складних геометрій, пов'язаних із гребінцями та ножами, лабораторне випробування на знос було розроблено. Було розроблено та виготовлено машину для стирання матеріалів разом за умов, подібних до тих, які є в наконечнику для стрижки. Дивіться фотографії 3.5 і 3.6.

Щоб усунути біологічні, кліматичні, географічні, механічні та людські зміни, які швидше зустрічаються під час польових випробувань стрижних гребінців і ножів, і уникнути трудомісткого та дорогого процесу створення точних і складних геометрій, пов'язаних із гребінцями та ножами, лабораторне випробування на знос було розроблено. Було розроблено та виготовлено разом машину для стирання матеріалів за умовами, подібними до тих, які є в наконечнику для стрижки. Дивіться фотографії 3.5 і 3.6.

Фото 3.5 Налаштування блоку тестування на знос із дозатором піску та реєстратором даних для запису температур.

Пристрій складався з електричного асинхронного двигуна потужністю 0,75 кВт, керованого інверторним приводом, з прямим з'єднанням з прокладковим валом, що підтримується двома самонастановними підшипниками. На кінці опорного вала був встановлений кривошип із ходом, який міг змінюватися від 0 до 20 мм.

Кривошипний штифт тримав загартовану сталеву кульку, яка сполучалася з вертикальною доріжкою на кінці рухомого важеля, утворюючи кривошипний механізм. Рухомий важіль обертався на вертикальному загартованому та відшліфованому сталевому валу та був оснащений голчастими роликівими підшипниками. Контактне навантаження зношуваного елемента створювалося шляхом вертикального навантаження на рухому важіль порожнистим циліндричним грузом. Вертикальне навантаження на рухому важіль передавалося через голчастий роликопідшипник.

Фото 3.6. Загальна схема вузла перевірки зносу.

Випробувальні зразки з геометричними параметрами, як описано на рис. 3.5 і 3.6 використовувалися для колодки (нерухомий компонент) і склоочисника (рухомий компонент).

Рис. 3.5 Геометрія зносостійкої накладки (проекція третього кута, усі розміри в мм).

Випробувальний зразок розробляє приблизні стандартні кути змикання гребінця для стрижки та різача та зони контакту без створення складних форм, зазвичай пов'язаних зі стандартними елементами.

Рис. 3.6 Геометрія склоочисника (проекція третього кута, усі розміри в мм)

Після побудови стіл блоку випробування на знос, до якого мала бути прикріплена захисна накладка, був зроблений точно перпендикулярно до осі гойдалки за допомогою циферблатного індикатора з роздільною здатністю 0,001 мм і вирівнювальних гвинтів, розташованих під столиком.

Термопару типу «К» злегка притиснули до нижньої сторони захисної накладки гумовою пружиною. Через електричний шум, створюваний приводом двигуна/інвертора, необхідно було електрично ізолювати термопару від захисної накладки шматком майларової плівки товщиною 0,1 мм. Зносні накладки були теплоізольовані від випробувального рівня двома шайбами товщиною 3 мм, виготовленими з нейлону 6.

Склоочисники трималися в прорізному кріпленні на кінці рухомого важеля, щоб підтримувати перпендикулярність до захисної накладки, але таким чином, щоб вони могли злегка хитатися навколо осі отвору діаметром 3 мм. Це було зроблено для того, щоб поверхня склоочисника могла повністю контактувати зі зношеною накладкою. Це також дозволило контактним плямам зносостійкої накладки/очисника рухатися вздовж поверхні склоочисника так само, як контактні плями для стандартного різця рухаються вздовж довжини зубів різця.

Кривошип вузла перевірки зносу було відрегульовано так, щоб склоочисник проходив 19 мм по поверхні зносостійкої накладки на самому зовнішньому краї склоочисника відповідно до «стандартного» широкого стрижучого наконечника.

«Кут закриття» між канавками склоочисника та захисної накладки коливався від 27° до 40° (див. рис. 3.7). Це порівнюється з кутами змикання, виміряними за допомогою каліброваних клинів на гребінцях і фрезах, встановлених на стандартному наконечнику, від 14° до 40° .

Рис. 3.7 Шлях склоочисника на зносостійкій накладці, що показує «кут закриття» між канавками склоочисника та зносостійкої накладки.

Спочатку планувалося запустити випробувальну установку з невеликою кількістю вовняного мастила, введеного в зону зношування, щоб діяти як мастило та більш наближено до фактичних умов експлуатації. З цією метою зразки вовняного жиру були отримані від Melbourne Scouring Pty. Ltd. Однак додавання дуже невеликих кількостей вовняного мастила до зношуваних елементів призвело до підвищення температури менше ніж на 30°C . Це погано порівнюється з фактичним підвищенням температури гребінця та ножа, виміряним у Roxby Park, приблизно на 30°C . Фактично виміряні температури були в діапазоні від 55 до 100°C , але робочу температуру навколишнього середовища слід прийняти як температуру тіла овець приблизно 40°C (фактичний діапазон $38,4 - 41,0^\circ\text{C}$; Myers, 2000). Щоб випробування було подібним до фактичних робочих умов, очікуване підвищення температури для стандартних матеріалів має становити від 15 до 60°C . Були спроби розбавити вовняний жир розчинами вода/мило та вода/миючий засіб, але було виявлено труднощі у підтримці вовняного жиру в розчині. Було випробувано кілька вуглеводневих розчинників.

Більш ароматичні розчинники, такі як Shell «X-55», добре розчиняли мастило для вовни, але через їхню летку природу було виявлено, що концентрація розчину у

відкритому контейнері постійно змінюється, що призводить до суперечливих результатів. Випробовували мастило для вовни та гас, але при кімнатній температурі з розчину випадала невелика кількість воскоподібного матеріалу, який блокував розподільний клапан. Застосування нульового мастила призвело до швидкого підвищення температури. Гас при низьких нормах внесення давав прийнятне підвищення температури. Зверніться до рис. 3.8.

Рис. 3.8 Діаграма залежності підвищення температури від часу для стандартного склоочисника ріжучого матеріалу, що працює на колодці 63HRc M2 з різними рівнями змащення.

Передбачено змішування абразивного середовища з мастилом для імітації флісового бруду. Виникли труднощі з підтримкою абразиву в суспензії, незважаючи на постійне перемішування. Був розроблений дозатор для абразивного матеріалу з використанням пластикової пляшки для зразків об'ємом 50 см³. В основі пляшки біля стінки просвердлили отвір діаметром 3 мм, а кришку прикріпили до валу невеликого крокового двигуна. Збірка пляшки та двигуна трималася так, щоб центральна вісь була приблизно горизонтальна. Коли пляшка оберталася навколо своєї центральної осі, з отвору діаметром 3 мм посипався абразивний матеріал. Швидкість дозування можна було контролювати, дещо змінюючи положення пляшки та швидкість обертання. Дивіться фото 3.7.

Фотографія 3.7 Вигляд блоку перевірки зносу, на якому показано розташування пристроїв для дозування мастила та абразиву.

Попередня робота показала, що на практиці контактні навантаження гребінця/різака можуть коливатися від 100 до 350 Н (Dennis, 1980). Це навантаження розподіляється на вісім ріжучих сторін різця та п'яту або крайню задню частину різця. Розподіл нерівномірний, при цьому кінчики зубів різця несуть приблизно в три рази більше навантаження, що прикладається до п'яти, через точку прикладання навантаження до різця. Стандартне навантаження, обране для випробування на знос, становило 20 Н. Це приблизно дорівнює фактичному контактному навантаженню гребінця/стрижка 240 Н.

П'ять різних матеріалів склоочисників порівнювали з шістьма різними матеріалами накладок. Один із матеріалів прокладки (M2) використовувався з двома різними рівнями твердості, а п'ять матеріалів прокладки були піддані термічній обробці. Використані матеріали склоочисників і накладок детально описані в таблицях 3.3 і 3.4.

Таблиця 3.3 Короткий перелік використаних матеріалів склоочисника.

Wiper Material	Hardness (HV ₃₀ mean of 3 tests)	Notes
SCM	745	Test pieces cut from <i>Heiniger</i> "Jet" cutters
Stellite 100	777	Test pieces cut from cast tool blank
M2 65	830	Sealed nitrogen quench and triple tempered
CI	535	Quenched and tempered pearlitic grey iron
TiN	Not tested	TiN coating applied to nominally 830HV ₃₀ M2 high speed steel

Термічна обробка, яка застосовувалася для всіх оброблених матеріалів при мінусовій температурі, полягала в зниженні температури компонента від навколишнього середовища до $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю $26,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$, витримці при температурі протягом шести годин, а потім повернення до кімнатної температури при $26,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Компанія Cryotemper Pty. Ltd., Мельбурн, виконала роботу відповідно до свого стандартного процесу термічної обробки при мінусовій температурі.

Таблиця 3.4. Короткий опис матеріалів зносостійких накладок, використаних у випробуваннях. Додаткові дані про матеріал див. у Додатку 9.2.

Wear Pad Material Designation	Hardness (HV ₃₀ mean of 3 tests)	Notes
O1	739	O1 - Oil-quenched and tempered.
S390	890	<i>Bohler</i> proprietary steel (S390), sealed nitrogen quench and triple tempered.
K190	800	<i>Bohler</i> proprietary powder metallurgy steel similar to DIN 1.2380 X220CrVMo13 4 – sealed nitrogen quenched and tempered.
D2	695	D2 - Oil-quenched and tempered.
M2 63	772	M2 - Sealed nitrogen quenched and triple tempered.
M2 65	845	M2 - Sealed nitrogen quenched and triple tempered.
Stellite 100	777	Test pieces cut from cast tool blank.
O1 CT	732	O1 - Oil-quenched and tempered and sub-zero treated.
S390 CT	912	<i>Bohler</i> proprietary steel (S390), sealed nitrogen quenched, triple tempered and sub-zero treated.
K190 CT	816	<i>Bohler</i> proprietary powder metallurgy steel similar to DIN 1.2380 X220CrVMo13 4 – sealed nitrogen quenched, tempered and sub-zero treated.
D2 CT	693	D2 - Oil quenched, tempered and sub-zero treated.
M2 63 CT	778	M2 - Sealed nitrogen quench, triple tempered and sub-zero treated.
M2 65 CT	840	M2 - Sealed nitrogen quench, triple tempered and sub-zero treated.
TiN	Not tested	TiN coating applied to nominally 830HV ₃₀ M2 high speed steel.

Стандартні умови лабораторного випробування на знос були встановлені як:

- Час виконання тесту – 10 хвилин
- Контактне навантаження – 20Н
- Мастило – гас
- Швидкість внесення мастила – 0,25 мл/хв
- Абразив – кремнезем Steetley Quartz #300 меш
- Швидкість нанесення абразиву – 10 мг/хв

Стандартний режим лабораторних досліджень був встановлений таким чином:

- Поверхнево відшліфуйте контактні поверхні, щоб видалити будь-які сліди зношування та забезпечити плоску поверхню. Шліфування виконано за допомогою круга з оксиду алюмінію зернистістю 36.

- Ультразвукове очищення в теплому розчині миючого засобу протягом трьох хвилин.

- Полоскання теплою водою.
- Висушіть денатурованим спиртом і теплим повітрям.
- Зважте за допомогою ваги з роздільною здатністю 0,1 мг.
- Тест
- Ультразвукове очищення в теплому розчині миючого засобу протягом трьох хвилин.

- Полоскання теплою водою.
- Висушіть денатурованим спиртом і теплим повітрям.
- Зважте за допомогою ваги з роздільною здатністю 0,1 мг.

Ця процедура була використана для всіх досліджуваних матеріалів, за винятком зразків, покритих TiN. Зразки, вкриті TiN, були шліфовані перед нанесенням покриття. Процедура випробування цих зразків була такою, як описано вище, за винятком пропуску операції подрібнення до та між випробуваннями.

Поверхнєве шліфування було виконано шліфувальним кругом із оксиду алюмінію з зернистістю 36 зернистостей, щоб забезпечити стабільний рівень підготовки поверхні. Вже було показано, що це забезпечує подібну довжину розриву, як і звичайна техніка шліфування зсувом (див. розділи 3.1 і 4.1), коли використовується

для стандартних гребінців і ножів. Звичайну техніку шліфування зсувом не використовували, оскільки було б важко підтримувати паралельність і площинність при шліфуванні пробних зразків.

Було проведено десять послідовних випробувань склоочисників, виготовлених із тертя SCM на зносостійку прокладку з матеріалу O1, щоб визначити розподіл очікуваних результатів у групах матеріалів. Було також досліджено вплив зміни навантаження, мастила та швидкості нанесення абразивного піску. Було проведено принаймні три випробування для кожної з комбінацій матеріалів, перелічених у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 Комбінації матеріалів, перевірених у лабораторних тестах на знос.

WEAR PAD MATERIAL	WIPER MATERIAL				
	SCM	Stellite 100	M2 65	Cl	TiN
O1	X	X	X	X	X
S390	X	X	X	X	
K190	X	X	X	X	
D2	X	X	X	X	
M2 63	X			X	
M2 65	X	X		X	
Stellite 100	X	X	X		
O1 CT	X				
S390 CT	X				
K190 CT	X				
D2 CT	X				
M2 63 CT	X				
M2 65 CT	X				
TiN	X				X

Цілком можливо, що деякі з несправностей виникли через одноразове перевантаження (наприклад, наїзд на клаксон, падіння наконечника на підлогу). Серед гребінців Lyons і Mackenzie типу M2, які повернулися з цією невдачею, стригальні машини не повідомляли про подібні випадки. Спостережувані пошкодження були обмежені частиною кінчика зуба довжиною 1-2 мм, яка відкололася. Для перевірених на сьогоднішній день гребінців було виявлено, що приблизно один із кожних 130 зубів вийшов з ладу. Процедура розм'якшення кінчика зуба, описана в розділі 3.1, здається, мало впливає на цей тип несправності.

Щоб визначити причину несправності, залишок двох несправних зубців гребінців, повернутих після польових випробувань, було видалено з відповідних

гребінців, очищено ультразвуком, встановлено на алюмінієвій загнушці та досліджено за допомогою скануючої електронної мікроскопії.

Для порівняння міцності на вигин кінчиків зубів між звичайними гребінцями та гребінцями типу M2 було обрано три гребінці: гребінець зі швидкорізальної сталі Lyons and Mackenzie M2 57, який був підданий розм'якшенню на кінчиках зубців (пронумерований «A1-10»); гребінець зі швидкорізальної сталі Lyons і Mackenzie M2 із загартованими та загартованими зубами (під номером «8»); гребінець Botany Bay “Longreach” (під номером “10”).

Тримач наконечника з щілинами виготовлено з високовуглецевої сталі та піддано термічній обробці (фото 3.8). Гребінець, що підлягав тестуванню, затискали в настільних лещатах біля щілин для кріплення, а тримач наконечника зубів прикладали до зуба. Навантаження поступово прикладалося до тримача наконечника за допомогою ряду вантажів, викликаючи консольне згинання наконечника зуба (фото 3.8). У разі поломки наконечника загальну масу гир визначали за допомогою ваги для верхнього навантаження. Випробування повторювали для наступних зубів.

Після розлому гребінці встановлювали вертикально на металографічному мікроскопі з поверхнею розлому, перпендикулярною до напрямку огляду. Шматок сталевого дроту відомого діаметру був розміщений поруч із поверхнею зламу, щоб діяти як розмірний еталон, і поверхня зламу була сфотографована (фото 3.9). За допомогою масштабування фотографій було розраховано другий момент площі в площині зламу та визначено екстремальне напруження волокна.

Використовуючи програмне забезпечення для інженерного аналізу ANSYS, була створена суцільна модель ідеалізованого зубця гребінця в спробі перевірити емпірично визначені екстремальні напруги у волокнах. Модель виготовлена для наближення форми зуба 12 гребінця Лайона та Маккензі під номером A1-10. Суцільна модель була з'єднана з 3690 елементами тривимірного типу тетраедра з 10 вузлами, як показано на рис. 3.9. Модель фіксували у всіх вузлах на корені зуба. Навантаження було застосовано до всіх вузлів на кінчику зуба та до всіх вузлів у площині, 2 мм від кінця кінчика зуба, щоб наблизити навантаження, застосовані під час статичного випробування на вигин.



Рис. 3.9 Вигляд кінцево-елементної сітчастої моделі зубів, що використовується для перевірки експериментального напруження, яке виникло під час статичного випробування на вигин зубців гребінця.

Фото 3.8 Спосіб застосування консольного навантаження до кінчиків зубців гребінця.

Під час роботи можна побачити, що стандартний стрижучий наконечник коливається приблизно навколо осі центрального штифта (рис. 2.2). Стандартний наконечник Sunbeam тримали вручну, а амплітуду коливань вимірювали на кінчиках гребінця сталеву лінійкою. Амплітуда була оцінена приблизно в 3 мм. Вважалося можливим, що шерсть або шкіра овець можуть зупинити коливання під час стрижки, протистоячи бічним рухам кінчиків гребінця. З цієї причини була визначена сила, необхідна для припинення коливань наконечника під час руху. Дерев'яний брусок був міцно стиснутий в лещатах. Рухомий наконечник для стрижки тримався з горизонтальною поздовжньою віссю та вертикальною поверхнею гребінця. Нижній зуб гребінця був поставлений на верхню поверхню дерев'яного бруска, а тягарці зростаючої маси були поміщені на верхній зуб гребінця, доки бічні коливання не припинилися (фото 3.10). Сила, необхідна для припинення коливань, становила 30 Н. Для застосування осцилюючого бічного навантаження до кінчиків зубців тестових гребінців було виготовлено насадку з щілинами з науглероженої, загартованої та відпущеної низьковуглецевої сталі. Це кріплення було встановлено на кінці рухомого кронштейна блоку тестування на знос (див. фотографію 3.6), що дає змогу зачепити один зуб гребінця за раз і відхилити кінчик зуба вбік (фото 3.11). Перед початком динамічного випробування кожного зуба з'єднувальну кульку з кривошипа вузла випробування на знос було видалено, що дозволило рухомій вазі вільно обертатися по невеликій дузі. Використовуючи пружинний баланс 50 Н і циферблатний індикатор, було виміряно відхилення вбік, спричинене застосуванням 30 Н. Зазор між кінчиком зуба та пазом у насадці також визначали за допомогою циферблатного індикатора. Потім кулю замінили на кривошип, а кривошип встановили на відхилення, виміряне при 30 Н, з урахуванням попередньо виміряного зазору. Ход кривошипа перевірявся за допомогою циферблатного індикатора. Потім пристрій для тестування на знос працював на частоті 40 Гц, а час, необхідний для того, щоб кінчик зуба вийшов з ладу, виміряли за допомогою ручного секундоміра. Було перевірено п'ять зубів комерційно доступного гребінця Heiniger «Pro», три зуби термічно обробленого гребінця Lyons і Mackenzie M2 і чотири зуби Lyons і Mackenzie M2, після термічної обробки, з пом'якшеними кінчиками. Оскільки кілька зубів гребінця M2 не зламалися після великої кількості

циклів, процедуру повторили з відхиленням, еквівалентним навантаженню 50 Н, що призвело до того, що всі зуби вийшли з ладу. Потім деякі з поверхонь зламу досліджували за допомогою скануючої електронної мікроскопії.

2.5. Висновки за розділом

Було досліджено вплив зміни навантаження, мастила та швидкості нанесення абразивного піску.

Для перевірених на сьогоднішній день гребінців було виявлено, що приблизно один із кожних 130 зубів вийшов з ладу.

За допомогою масштабування фотографій було розраховано другий момент площі в площині зламу та визначено екстремальне напруження волокна.

Використовуючи програмне забезпечення для інженерного аналізу ANSYS, була створена суцільна модель ідеалізованого зуба гребінця в спробі підтвердити емпірично визначені екстремальні напруги у волокнах.

визначали силу, необхідну для припинення коливань наконечника під час руху.

РОЗДІЛ ІІІ. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Польові роботи

Ефект обробки поверхні – випробування Мурамонг. Випробування різних оздоблень шліфованої поверхні в Мурамонгу не було остаточним. До випробування для дослідження довжини розриву гребінців, які підлягали різним процесам шліфування, вибрана тестова стригальня використовувала гребінці марки Heiniger і стригла 20-30 овець між загостреннями гребінців. Гребені з поверхневим шліфуванням і внахлест утримують таку ж кількість овець, як і власні гребінці стригалі, перш ніж їх визнають непридатними для використання. Наземний гребінець «Промислового стандарту» був встановлений останнім. Стригаль не був задоволений тим, що гребінець стриже, і змінив різак після першої вівці. Різак знову змінили після ще чотирьох овець, замінивши один із стригальських ножів тестовим ножом, який постачався. Після стрижки ще однієї вівці гребінець було відхилено як «не стрижучий», і стригаль повернувся до власного наконечника. Подальший тест на стрижку з 8-шаровою в'язальною вовною показав, що цей гребінець не стриже дно першої страхоходу. Дослідження за допомогою циферблатного індикатора на поверхні пластини показало ділянку номінально на 8 мкм нижче рівня кінчиків зубів. Результати тесту в Мурамонгу наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Результати випробувань на Mooramong, що порівнюють відносну тривалість заточування гребінців, підготовлених із застосуванням різних методів підготовки поверхні.

Comb preparation description	Sheep shorn with first cutter	Sheep shorn with second cutter	Comments
Surface-ground 0.5 μ mRa	16	8	
Lapped 0.4 μ mRa	16	9	
"Industry standard" grind 1.7 μ mRa	1	4	test discontinued – comb not cutting

З шести наконечників, перевірених на наявність зазору між гребінцем і різакком після використання, п'ять прийняли щуп 38 мкм, а один – 76 мкм, що вказує на знос значної кількості матеріалу, ймовірно, від зубів різця. Контактні поверхні різців були достатньо зношені після використання, щоб видалити будь-які сліди від

шліфування, при цьому знос був найбільшим у напрямку до кінчиків зубів. Зуби гребінця також були зношені, але не такою мірою, оскільки все ще були присутні

Фотографія 4.1 Щуп 76 мкм, вставлений між гребінцем і ріжучою п'ятою після використання.

Вимірювання округлення країв – випробування Мурамонга. Результати вимірювання закруглення країв наведено в таблицях 4.2 і 4.3. Заокруглення країв, виміряне для гребінців, зазвичай було меншим, ніж для різців із заокругленням країв для гребінців від 3 до 17 мкм, а для різців — від 4 до 29 мкм. Випробування, проведені в Moogamong, не дали достатньо даних для статистичного аналізу. Вони зробили корисний тест для вимірювального обладнання та допомогли підготуватися до випробувань, проведених у Хіллсайді.

Середня округленість краю зуба гребінця, виміряна після використання, наведена в таблиці 4.7 для трьох типів техніки шліфування. Середнє заокруглення краю на вівцю (таблиця 4.7) вказує на те, що немає суттєвої різниці між методами підготовки поверхні з точки зору втрати матеріалу з країв зубів гребінця на стрижену вівцю.

Таблиця 4.7 Середні значення оцінок заокруглення кромки зуба гребінця, розраховані за результатами випробувань на зрізання на схилі.

Comb grinding technique	Average edge rounding (μm)	Average rounding/average burst length ($\mu\text{m}/\text{sheep}$)
"Industry standard" grind	6	0.5
Surface-ground	7	0.5
Lapped	8	0.5

Дисперсійний аналіз (ANOVA) використовувався для аналізу даних, представлених у таблицях 4.4-4.6, щоб визначити, чи є нульова гіпотеза (тобто відсутність різниці між середніми значеннями) правильною. Було використано метод, наданий Шпігелем для нерівної кількості спостережень

Таблиця 4.8 Середні значення та ANOVA для всіх результатів довжини пакету.

Comb surface prep.	Sheep shorn per burst					Total	Mean
Lapped	14	17	17	16	20	84	16.8
surface-ground	16	12	17	13		58	14.5
standard grind	12	11	15	11		49	12.3
grand mean							14.5
ANOVA							
		dof		mean square		F	
total variation	93.2						
variation between groups	45.8	2		22.9			
variation within groups	47.4	10		4.74		4.8	

Розраховане значення $F_{0.5}(2,10)$, наведене в таблиці 4.8, більше, ніж табличне значення 4.1. Отже, нульову гіпотезу можна відхилити на рівні довіри 95%, але не на рівні довіри 99%, для якого табличне значення $F_{0.1}(2,10)$ становить 7,56. Використовуючи гребінки Лонгріча як контроль, «критерій Стюдента» можна використовувати для порівняння середнього підвищення температури, зареєстрованого для інших матеріалів, із середнім підвищенням, виміряним для гребінців Лонгріча, щоб визначити, чи є значна різниця в зареєстрованих підвищеннях температури. Значення наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 Перевірте наявність відмінностей між середніми підвищеннями температури, зареєстрованими для різних матеріалів, використовуючи гребінці Longreach як контроль.

Check for significance between	Means	Standard deviation	dof	Calculated "t" value	Tabulated "t" value (Spiegel, 1975)	Significant at 0.01% confidence level?
Botany Bay Longreach & M2 63	$x_l = 72$ $x_{s63} = 68$	8.9	564	5.3	2.58	Yes
Botany Bay Longreach & M2 57	$x_l = 72$ $x_{s57} = 69$	11.2	525	3.1	2.58	Yes
Botany Bay Longreach & Calmax	$x_l = 72$ $x_c = 69$	10.1	445	3.0	2.58	Yes
Botany Bay Longreach & H13	$x_l = 72$ $x_w = 71$	10.5	373	0.8	2.58	No

Виникли труднощі в отриманні узгоджених результатів під час тесту на занурення. Результат тесту значною мірою залежав від контактного навантаження між гребінцем і ножом. Використане навантаження було подібним до того, яке використовували стригальні машини, але було виявлено, що невеликі варіації відзначають різницю між різанням і нерізанням. Через це будь-який статистичний висновок, зроблений на основі даних у таблиці 4.12, може бути неточним. Проте з таблиці 4.12 видно, що жоден конкретний зуб не був відповідальним за припинення різання.

Таблиця 4.13 Підсумок результатів випробування щупом, отриманих під час випробувань на зрізання в Roxby Park.

Comb material type	No. of replications	Number passing given feeler gauge thickness			
		38 μ m	50 μ m	76 μ m	100 μ m
M2 63	3	1	1		1
M2 57	8	1	1		
H13	5		1	1	
Calmax	4			1	
Botany Bay Longreach	5	1	2	1	
Total	25	3	5	3	1

Зібраних даних випробування щупом недостатньо для статистичного аналізу. З таблиці 4.13 стає очевидним, що приблизно в половині пар гребінця/різака, досліджених наприкінці стрижки, передня частина гребінця та/або різця була

достатньо зношена, щоб увійти щуп принаймні 38 мкм. між п'ятою фрези та гребінцем.

3.3. Лабораторні випробування на знос

Підвищення температури протягом 10 послідовних прогонів у стандартних умовах лабораторного випробування на знос із склоочисником SCM на накладці O1 наведено на рис. 4.7. Середнє значення останніх 15 вимірювань становить 24оС, а стандартне відхилення 2,6. Розкид результатів більший, ніж бажано. Точна причина варіації не була очевидною, хоча швидкість внесення піску та техніка нанесення могли бути відповідальними. Швидкість нанесення піску перевіряли перед кожною серією випробувань, щоб переконатися, що вона знаходиться в діапазоні від 10 до 13 мг/хв шляхом відбору зразків протягом п'яти хвилин і зважування кількості, що видається. Однак можливо, що під час тестового періоду могли відбутися деякі зміни, так що загальна швидкість була в прийнятному діапазоні, тоді як миттєва швидкість могла бути не в межах прийнятного діапазону.

Рис. 4.7 Підвищення температури по відношенню до часу для кількох циклів (різні кольори та типи маркерів) склоочисника SCM на колодці O1 за стандартних умов випробування (див. розділ 3.4). Інтервал реєстрації температури 10 секунд.

Рис. 4.8 Вплив на виміряну втрату маси для контактних навантажень склоочисника/захисних накладок на двох рівнях (20 Н – стандартний і 40 Н – подвійний стандарт) для ряду матеріалів зносних накладок. Використовується склоочисник SCM, стандартне змащення та кількість піску.

Нанесення піску зі швидкістю 10 мг/хв збільшило виміряне підвищення температури для пари склоочисника SCM/прокладки O1 із середнього 16оС до 24оС. Збільшення швидкості внесення піску до 25 мг/хв призвело до подальшого підвищення виміряної середньої температури до 36оС (рис. 4.11).

Рис. 4.11 Вплив на підвищення середньої температури склоочисника SCM на зносостійкій накладці O1 під час роботи з двома різними рівнями нанесення піску та гасу порівняно з нанесенням лише гасу. Тестове навантаження 20 Н.

3.4. Висновки за розділом

Зносостійкість і низьке підвищення температури є важливими характеристиками матеріалів, які використовуються для стрижних гребінців і ножів. немає простого, прямого зв'язку між втратою маси та підвищенням температури.

Моделювання методом кінцевих елементів статичного випробування на вигин дало очікувану деформовану форму кінчиків зубів. Статичні випробування на вигин кінчиків зубців гребінця дали високу розрахункову міцність на вигин для двох різних типів випробуваного матеріалу.

Більшість перевірених наконечників зубів служили протягом тривалого часу, причому деякі з наконечників зі швидкорізальної сталі витримали понад 200 000 циклів при ± 30 Н. Загалом зубчасті наконечники зі швидкорізальної сталі мали більшу витривалість, ніж наявні у продажу гребінці з високовуглецевої та низьколегованої сталі. Експериментально визначені значення приблизно на 10% вищі за опубліковані значення міцності на вигин для аналогічних швидкорізальних сталей.

Металографія традиційної швидкорізальної сталі M2 і гребінчастих секцій S390 контрастувала між мікроструктурами. Незважаючи на те, що компанія Böhler використовувала поперечну прокатку у виробництві аркуша M2, з якого були виготовлені тестові гребінки, була присутня смуга первинних карбідів. Первинна форма карбиду була кутовою з найбільшим спостережуваним розміром приблизно 20 мкм. Швидкорізальна сталь порошкової металургії S390 містила тонку рівномірну дисперсію сфероїдальних карбідів, як правило, діаметром кілька мікрон.

EDS вказав, що зразок золи вовни, взятий з лабораторії Австралійського органу з тестування вовни, містив велику кількість кремнеземистого матеріалу. Підготовлений і очищений вручну зразок вовни не містив значної кількості кремнеземистого матеріалу.

РОЗДІЛ IV. ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Вплив шліфованої поверхні

Зміни в обробці поверхні шліфованої поверхні стрижучого гребінця не мали значного впливу на спостережувану довжину розриву гребінця. Відносно шорстка обробка 1,7 мкм Ra, отримана звичайним процесом шліфування, має таку ж кількість овець, як і відносно гладка обробка 0,4 мкм Ra, отримана шляхом притирки. Робота, проведена в Hillside і Mooramong, вказує на те, що варіації в обробці поверхні між досліджуваними рівнями не впливають на кількість округлення країв, що виникає під час стрижки гребінців під час експлуатації. Навіть незважаючи на те, що середнє закруглення краю, визначене для трьох різних методів підготовки поверхні, коливалося від 6 до 8 мкм (таблиця 4.7), точність випробування необхідно брати до уваги. З орієнтовною точністю приблизно 10% від показань, розраховані середні значення 6, 7 і 8 мкм для трьох різних методів могли бути взяті з тієї самої популяції. Якщо поділити середній ступінь заокруглення країв на кількість овець, острижених, то заокруглення на одну вівцю становить 0,5 мкм (таблиця 4.7).

Цей показник був універсальним для трьох використаних методів підготовки поверхні. Відносна довжина розриву для трьох методів підготовки поверхні, які спочатку використовувалися на Hillside, здається різною, із середньою довжиною розриву в діапазоні від 16,8 овець для гребінців з накладкою до 12,3 овець для стандартних гребінців (таблиця 4.8). На рівні довіри 95% існує різниця між середніми значеннями, але не на рівні довіри 99%. Загальний розмір вибірки з 13 екземплярів гребінців і 191 вівці був відносно малим, що робило прийняття рішення на цій основі невизначеним.

Неочікуваним спостереженням стала кількість матеріалу, стертого з поверхні гребінця та фрези. Навантаження прикладається до різця приблизно на половині різцевого зуба. За візуальним спостереженням різці зношувалися більше, ніж гребінець. Щоб гребінець і ножиця зношувалися достатньо, щоб щуп до 76 мкм міг увійти під п'яту ножа, сумарна втрата товщини гребінця та ножа в зоні кінчика має бути такого ж порядку, як і розмір ножа. товщина допущена (рис. 5.1)

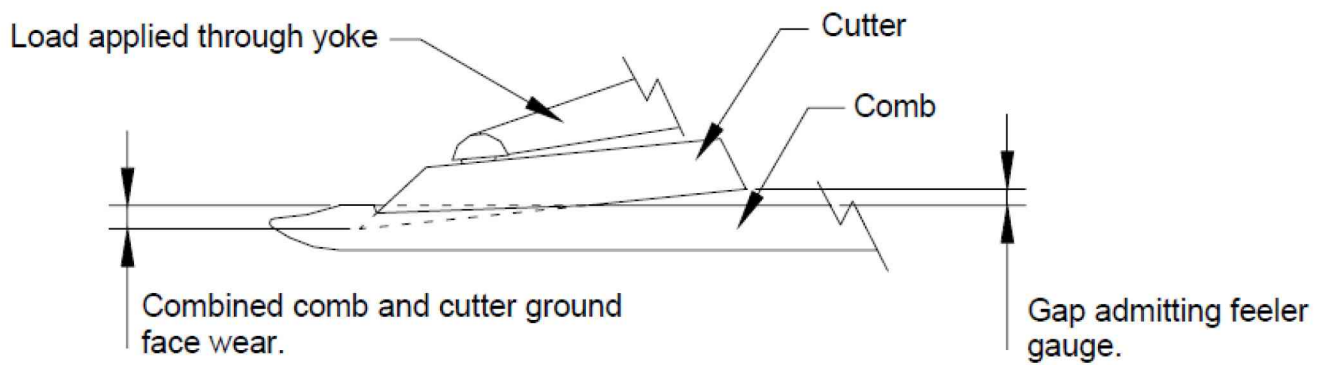


Рис. 5.1 Показує приблизний зв'язок між зносом комбінованої гребінки та фрези та зазором на п'яті фрези. Пунктирні лінії позначають поверхні перед носінням.

Посилаючись на рис. 5.1, видно, що показаний тип зносу зменшить стійкість різця на гребінці. Крайня задня точка контакту різця змістилася вперед від п'яти різця до точки приблизно посередині між п'ятою та кінчиком різця. Це полегшить підйом зубів фрези та може призвести до припинення різання.

4.2. Вимірювання температури

В ідеалі температура гребінця вимірювалася б під час роботи. Була досліджена можливість зробити це. Безконтактне вимірювання було б кращим, оскільки це позбавило б необхідності кріплення термопар або інших приладів для вимірювання температури на гребінці. Зробити це завадили два фактори. Першим фактором був час відгуку більшості комерційно доступних інфрачервоних детекторів, який зазвичай становив близько 0,1 секунди. Якби детектор мав вимірювати температуру гребінця, час відгуку був би менше половини періоду одного циклу різання (тобто $t < 0,009$ с). Другий фактор стосується робочого середовища. Під час стрижки гребінь покривається шерстю. Якби використовувати безконтактне вимірювання, воно давало б результати лише тоді, коли гребінець виходив із шерсті в кінці кожного удару. Невизначеність точного знання того, що було в цільовій зоні (тобто шерсть, гребінець або ножиця) у поєднанні зі змінами поверхневої випромінювальної здатності в результаті зносу та відкладення жиру, призвело б до того, що безконтактне вимірювання температури стало б неточним.

Жорстке підключення термопари, термістора або мікросхеми для вимірювання температури до гребінця не було варіантом, оскільки необхідні провідні дроти перешкоджають здатності стригалки маніпулювати наконечником

під час використання. Нормальною практикою для стригала є дозволити наконечнику зробити повний поворот навколо своєї осі під час його переміщення в руці.

Обрана методика вимірювання температури гребінця на кінці кожної вівці була дієвим компромісом. Швидкість падіння температури становила приблизно 10oC за хвилину. У більшості випадків вимірювання проводилося протягом 10 секунд після завершення зсуву, так що похибка між фактичною та вимірною температурою була менше ніж 2oC. Розглядаючи фактичні робочі температури, можливо, це потрібно враховувати.

The ANOVA analysis of the end-of-shearing temperatures measured at Roxby Park indicated that there was a statistically significant difference in the end of shearing temperatures recorded for some groups of materials. Compared with the control combs (Botany Bay Longreach), the M2 57, M2 63 and Calmax combs all exhibited lower end of shearing temperatures. However, it could be argued that while, statistically the 3 or 4oC temperature difference is significant, to the shearer such a small temperature rise difference would hardly be noticed.

гребінці, які зафіксували найбільшу довжину сплеску, були типу M2 63. Гребінці H13 зафіксували найкоротшу середню довжину вибуху. Усі середні характеризуються великими стандартними відхиленнями. Інколи гребінець стриг неочікувано велику кількість овець, перш ніж потребувати загострення, як у випадку з гребінцем Botany Bay Longreach, який одним ударом тримає 89 овець. В інший час кількість була несподівано низькою, причому найнижча кількість із чотирьох також була зареєстрована для гребінця Botany Bay Longreach. Причини такої кількості варіацій не ясні, але вони можуть бути пов'язані з факторами навколишнього середовища. Найвищий показник для цих гребінців був зареєстрований протягом перших двох днів випробування, коли шерсть містила менше бруду, ніж останні два дні, коли було зареєстровано найнижчий показник. Людські чинники (особисті переваги, налаштування наконечника або стиль різання) і профіль поверхні ґрунту також могли вплинути на результат. Не було жодних ознак того, що середня довжина розриву в одного стригального апарату відрізняється від інших. Результати, зафіксовані в таблиці 4.14, зведені на рис. 5.2.

Рис. 5.2 Середня довжина спалаху для кожної групи матеріалів гребінки (смуги помилок вказують на діапазон записаних результатів).

Ідеальний гребінець мав би велику середню довжину розриву та невелике стандартне відхилення, що вказує на тривалу та передбачувану роботу між заточуванням та низьким видаленням матеріалу, необхідним для відновлення поверхні землі.

Заокруглення країв зубів гребінця або ріжучого інструменту неможливе в результаті тертя, по суті, двох плоских поверхонь. Очікується, що через прикладене контактне навантаження виникнуть деякі механічні деформації. Однак для того, щоб фреза створювала рівномірні радіуси, які спостерігаються на зношених зубах гребінця (див. фотографії 3.1 і 3.2), знадобиться, щоб зуби фрези ковзали вгору по передній поверхні зубів гребінця та по краю. Виходячи з цього, заокруглення країв, що спостерігається, має бути спричинене стиранням ріжучих елементів або вовною, або частинками бруду, які містяться у шерсті.

середня швидкість зносу різців, зареєстрована для різців, які працюють на стандартних гребінцях, була найнижчою з усіх матеріалів. Однак існує великий розкид результатів у всіх перелічених групах. Цей розкид, ймовірно, не є результатом експериментальної помилки, оскільки він є спільним для всіх перелічених груп. Видалення результатів за останні два дні випробувань не впливає на розкид результатів, тому малоймовірно, що це явище пов'язане з кількістю піску у шерсті. Це може бути пов'язано з порушенням змащення ріжучої пари, що, у свою

чергу, може бути пов'язано з підготовкою поверхні ріжучої пари або ступенем змащування, яке пропонують окремі волокна. Вилучення результатів, отриманих для конкретних типів овець, мало впливає на поширення наданих результатів.

Роль твердого абразивного матеріалу в зношуванні гребінців і фрез важко оцінити кількісно через очікувану мінливість таких факторів:

- Відмінності в твердості абразивного матеріалу, морфології та поширеності через географічні варіації.
- Різниця в концентрації абразивного матеріалу у шерсті на площині різання внаслідок сільськогосподарської практики та сезонних умов (див. фото 5.1).
- Зміни в рівнях флісового мастила та їх здатності змащувати.

За тривалого часу роботи кількість закруглень країв, зафіксованих у більш жорстких умовах, майже подвоїлася. Ймовірність стирання трьох частин, яке має місце в результаті підвищеної присутності бруду, також зросла, що пояснює зменшення довжини розриву для більшості гребінців протягом останніх двох днів випробування. Наявність вбудованих твердих частинок, ймовірно кварцу, підтверджено скануючою електронною мікроскопією

Фотографія 5.1 Флісова вовна, на якій видно потемніння до кінчиків волокон через поєднання нальоту та бруду. Концентрація бруду зменшується в напрямку до коренів волокон, але окремі частинки все ще можна побачити візуально при ретельному розгляді.

4.3. Висновки за розділом

Якщо використовувати високолеговану сталь, таку як швидкорізальна сталь, для виробництва гребінця для стрижки, то три найбільш очевидні рішення проблеми передчасного руйнування кінчика зуба: зменшіть напругу шляхом збільшення товщини профілю, використовуйте матеріал з підвищеною міцністю, використовуйте матеріал з мінімізованими концентраторами внутрішніх напруг.

Варіант 1 не буде прийнятним для стригалів. Більшість віддасть перевагу ще тоншим наконечникам, ніж стандартні.

Варіант 2 може бути важко здійсненим. Для протидії швидкому зносу контактних поверхонь необхідна висока твердість. Висока твердість передбачає високу стійкість до пластичних деформацій. Високий опір пластичній деформації (тобто висока міцність) зменшує здатність матеріалу локально розсіювати напругу в концентраторах напруги, що призводить до низької в'язкості.

Використання сталі порошкової металургії задовольнило б варіант 3.

РОЗДІЛ V. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Охорона праці

Пристрій для перевірки зносу дає змогу перевіряти потенційні матеріали гребінців і ножівок у стандартизованих умовах, подібних до фактичних умов експлуатації. Він використовує прості геометрії обробки та забезпечує об'єктивні вимірювання в годинах замість тижнів або місяців, як це відбувається під час польових випробувань.

Основною причиною мінливості тесту на знос є пристрій для розподілу піску. Корисним удосконаленням, яке допомогло б зменшити розкид отриманих результатів, була б покращена система подачі піску. Існуюча система не забезпечує добре відрегульований потік абразивного матеріалу до зношуваних компонентів, причому піщинка має тенденцію до злипання в дозаторі. Незважаючи на додавання більших кварцових шматків (-6 +4 мм) до дозатора та часте сушіння матеріалу, він усе ще мав тенденцію до злипання. Щоб подолати цю проблему, потрібна система позитивної подачі невеликої відміряної кількості піску.

Деякі результати підвищення температури, досягнуті для тестових зразків, оброблених термічною температурою нижче нуля (особливо пари S390/SCM), були напрочуд низькими. Якщо цей ефект реальний, то в цьому потенційно є значна користь. Ефект необхідно додатково дослідити, щоб визначити причини цього та можливі шляхи оптимізації ефекту.

5.2. Екологічна експертиза

Очікується, що до 2050 року світове населення перевищить 9 мільярдів. За оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, така ситуація призведе до збільшення попиту на високоякісні білки, такі як молоко та м'ясо, на 60%. Тваринницький сектор є найбільшим у світі споживачем природних ресурсів і охоплює 8% сільськогосподарських угідь, які використовуються для випасу худоби або виробництва кормів для тварин, і 8% світового використання води, яка в основному використовується для поливу корму для сільськогосподарських культур. Крім того, зміна клімату та використання пестицидів, деяких продуктів для здоров'я тварин, інгредієнтів кормових добавок побічні ефекти використання продуктів

біотехнології створюють загрозу для безпеки харчових продуктів. Ключем до збереження природних ресурсів є розробка стійких методів збільшення здорової сільськогосподарської продукції з більшості існуючих сільськогосподарських угідь. Щоб задовольнити зростаючий глобальний попит на харчові продукти та білок, ФАО оцінює, що 70% збільшення виробництва буде отримано за рахунок використання технологій, що свідчить про те, що загроза безпеці харчових продуктів зростатиме на тому ж рівні. Хвороби тварин, зоонози та добробут тварин є іншими компонентами цієї загрози.

У сталому розведенні тварин є 3 основні складові. Це екологічна свідомість, економічна цінність і соціальна відповідальність. Запропоновані у цій роботі рішення сприяють виробництву економічно життєздатним способом харчових продуктів у харчовому ланцюгу, а також реалізацію соціальних та екологічних цілей, отримання справедливої частки прибутку від харчового ланцюга виробничою економікою та здатність виробників розуміти умови інвестування, зміни ринку, ціни на продукцію, ресурси та прибутковість.

В основі дослідження лежить принцип природної пасовищної поведінки тварин. Пасовищне тваринництво покращує продуктивність і стійкість пасовищ і ґрунту. Це тваринництво проводиться з урахуванням типу рослинності в регіоні, структури ґрунту, клімату, географії, домінуючих вітрів, висоти, напрямку, видів і порід тварин, водних ресурсів і добробуту тварин.

5.3. Економічна ефективність

Для забезпечення коректності зіставлення та об'єктивності прийняття рішення щодо доцільності проектів, використовуються єдині принципи оцінки економічної ефективності.

Оцінка економічної ефективності проекту проводиться на основі чистого грошового потоку від операційної та інвестиційної діяльності (різниця між надходженнями і платежами), скоригованого на податкові відрахування. Грошові потоки від фінансової діяльності (за винятком нарахованих відсотків), які пов'язані з реалізацією проекту, не враховуються під час формування чистого грошового

поток, але податок на прибуток розраховується з урахуванням вартості фінансування проекту (з урахуванням відсотків).

За результатами проведених економічних досліджень провідних вчених-економістів встановлено, що для аналізу проектів використовують номінальні грошові потоки, тобто грошові потоки, що коригуються на рівень інфляції. Прогнозні індекси інфляції визначаються ринковими дослідженнями та аналізом підприємства й надаються учасникам інвестиційного процесу для подальшого використання як частина припущень, що використовуються на етапі оцінки та планування. Використання будь-яких інших індексів інфляції не допускається.

У контексті даного дослідження метод термінальної вартості використаний для оцінки доцільності запровадження представлених рішень. У разі використання цього методу сумарний грошовий потік за горизонтом розрахунку дорівнює грошовому потоку в останній період прогнозування, скоригований на коефіцієнт зростання грошових потоків та поділений на різницю між ставкою дисконтування та коефіцієнтом зростання грошових потоків. В якості коефіцієнта можливе використання індексу інфляції.

Так, для визначення приблизних капітальних вкладень на переоснащення вівчарного підприємства новими ріжучими інструментами в першу чергу доцільно узагальнити характеристики проектного технологічного обладнання, що і було зроблено. Наступним кроком було визначення експлуатаційних параметрів запропонованого технологічного обладнання.

Для оцінки проекту представленого у даній роботі пропонується використати такі основні показники ефективності: чиста приведена вартість, індекс прибутковості, внутрішня норма прибутку, дисконтований період окупності.

Із врахуванням чисельності персоналу та підвищення продуктивності роботи середньостатистичного вівчарного підприємства, економічний ефект від впровадження модифікованих стригальних тримерів складатиме в середньому 250 тис. грн на рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Гребінці для стрижки та ножі під час нормального використання зношуються в трьох режимах:

Зношення внаслідок удару в результаті потрапляння великих частинок бруду між закриваючими краями ріжучих елементів. Бруд, витягнутий із мийного розчину, містив частинки кварцу діаметром до 2 мм. Спостережені пошкодження від удару вказують на те, що частинки в діапазоні +50 мкм головним чином відповідають за цей тип зносу.

Абразивний знос гострих ріжучих кромок через бруд на поверхні волокон вовни, що проходить через ріжучі кромки або викидається із зони контакту під час різання. Це призводить до загального заокруглення ріжучих країв і постійно збільшується з часом.

Трикорпусний знос шліфованих граней гребінок і фрез. Треті частини - це переважно частинки мікронного та субмікронного розміру, захоплені шерстю, але не всередині волокон вовни. Результатом є розвиток неплюських поверхонь контакту гребінця та ріжучого інструменту (вигнутість), причому відхилення від плоскості є найбільшим поблизу стрижки. краю.

Дія різання залежить від тісного контакту ріжучих елементів на ріжучій кромці. Максимальний ступінь округлення ріжучої кромки, який спостерігався під час польових випробувань, становив 59 мкм. Експериментально було встановлено, що заокруглення краю приблизно 120 мкм необхідне для необхідного подвоєння контактного навантаження, необхідного для підтримки різання. Через це малоймовірно, що заокруглення ріжучих країв є єдиним причиною припинення різання.

Експериментально було встановлено, що відстань між ріжучими кромками в порядку 6 мкм через неплюські шліфовані поверхні достатня для припинення різання. Причиною припинення різання є насамперед неплюський знос поверхонь контакту з землею гребінця та різця, хоча заокруглення країв також може сприяти цьому. Це неплющинне зношування є прямим результатом зношування трьох частин гребінця та ножа.

Шорсткість поверхні контактних шліфованих поверхонь ріжучих елементів може впливати на ріжучу здатність і довжину розриву гребінців і різців, хоча ефект не був значущим на 95% рівні довіри.

Лабораторні випробування на знос, розроблені в рамках цієї роботи, виявилися цінними для швидкої оцінки відносної ефективності різних можливих комбінацій матеріалів гребінця та ріжучого інструменту в умовах, які наближені до тих, що зустрічаються в польових умовах. З деякими додатковими вдосконаленнями системи розподілу піску, це повинно виявитися корисним у подальшій роботі.

Проведена робота вказує на те, що можна значно покращити довговічність гребінця для стрижки з точки зору зношування та функціональність щодо робочої температури.

Виходячи з вищевикладеного, дають наступні рекомендації щодо вибору матеріалу для стрижних гребінців і фрез:

Для мінімального зносу гребінця для стрижки рекомендується використовувати гребінець з покриттям TiN у поєднанні зі стандартним стрижним ножем. Субстрат для гребінця має бути легованою сталлю, яка стійка до загартування за нормальних температур покриття PVD.

Звичайні швидкорізальні сталі не рекомендуються через можливість наявності карбідів або агломерацій карбідів, достатніх для передчасного руйнування кінчиків зубів гребінки. Рекоменднуються леговані сталі порошкової металургії. Якщо гребінці та фрези мають бути виготовлені в звичайному форматі на відміну від одноразових, такі сталі, як Böhler K190 або S390, рекомендуються на основі того, що вони продовжуватимуть забезпечувати гарну зносостійкість після проникнення в шар TiN.

Для мінімального спільного зносу гребінця та ножа рекомендується використання гребінця та ножа з покриттям TiN. Якщо формат має бути звичайним, оскільки повторне заточування може бути виконано після проникнення шару PVD, рекомендується використовувати фрезу M2 і гребінець із сталі порошкової металургії, подібної до Böhler S390 або K190.