

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»
НАВЧАЛЬНО - НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ
ІНСТИТУТ
Кафедра технології машинобудування

«На правах рукопису»
УДК 621.91

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Олександр Охріменко
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

“ ” 2023р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-науковою програмою «Технології машинобудування»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні

Виконав:

студент 2 курсу, групи МТ-21мп

Свердленко Максим Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

к.т.н., доц. Кореньков В.М.

Науковий керівник

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

к.т.н., доц.каф. КМ Красновид Д.О.

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2023

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально – науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-науковою програмою «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр Охріменко

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

_____ Свердленко Максим Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні

науковий керівник: к.т.н., доц. Кореньков В.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023р. № 5127

2. Термін подання студентом дисертації « ____ » _____ 20__ р.

3. Об'єкт дослідження: процес зношування різального інструменту при свердлінні нержавіючих сталей

4. Вихідні дані: матеріал оброблюваних деталей нержавіюча сталь марки 08X18H10; різальний інструмент – свердла Р6М5 діаметром 5..8мм; діапазон швидкостей обертання шпинделя 100..1200об/хв; використання МОР

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести дослід та розробити математичну модель залежності періоду стійкості свердл від параметрів режимів різання для зананого матеріалу та умов оброблення

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 15..20 слайдів MS Power Point

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	Вересень 2023	
2	Постановка задачі, вибір та ознайомлення з програмними продуктами для розрахунку математичних моделей	Жовтень 2023	
3	Планування експерименту	Жовтень 2023	
4	Проведення експерименту	Листопад 2023	
5	Обробка результатів та розрахунок математичних моделей	Листопад 2023	
6	Розробка стартап проєту	Грудень 2023	
7	Оформлення дисертації та ілюстративного матеріалу	Грудень 2023	

Студент

Свердленко Максим

Науковий керівник

Володимир Кореньков

ЗМІСТ

АННОТАЦІЯ	5
РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ	9
1.1. Поняття та види зношування різального інструменту	9
1.2. Фактори, що впливають на зношування різального інструменту	14
1.3. Методи вимірювання та оцінки зношування	17
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СВЕРДЛІННЯ	20
2.1. Опис процесу свердління	21
2.2. Типи свердл та їх особливості	24
2.3. Вплив параметрів свердління на зношування інструменту	34
3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	36
3.1. Лабораторні методи дослідження	36
3.2. Експериментальні методи на виробництві	40
3.3. Визначення критеріїв зношування	42
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ СВЕРДЛІННІ	46
4.1 Вимірювання та оцінка зношування різального інструменту	46
4.2 Результати та обґрунтування дослідження	49
4.3 Рекомендації та практичне застосування результатів дослідження	61
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	66
5.1 Опис ідеї стартап-проекту	66
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	68
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	69
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	76
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	78
5.6 Висновок до 5 розділу	81
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

АННОТАЦІЯ

«Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні»

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

На основі вивчення літературних істочників та проведених експериментальних обробок виявлено ключові фактори, що впливають на ефективність і точність процесу свердління.

Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні виявило ряд ключових аспектів, які можуть бути використані для оптимізації цього процесу металообробки.

Отримані значення коефіцієнтів для розрахунку стійкості дають змогу винаходити оптимальні режими у розрізі її максимізації.

Ключові слова: знос, свердло, режими різання, період стійкості, математична модель стійкості

ANNOTATION

«Study of cutting tool wear during drilling»

Dissertation for the degree of Master of Science in specialty 131 - Applied Mechanics. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

Based on the study of literary sources and experimental treatments, the key factors affecting the efficiency and accuracy of the drilling process were identified.

The study of cutting tool wear during drilling has revealed a number of key aspects that can be used to optimize this metalworking process.

The obtained values of the coefficients for calculating the durability make it possible to invent optimal modes in terms of its maximization.

Keywords: wear, drill bit, cutting modes, stability period, mathematical model of stability

РЕФЕРАТ

Структура та об'єм роботи. Магістерська дисертація має 4 розділи, висновки, список літератури що була використана. Робота складається з 88 аркушів, 30 таблиць, 25 рисунків, 16 літературних джерел.

Актуальність теми. Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні є актуальним завданням в галузі металообробки та машинобудування. Ефективне використання різального інструменту передбачає розуміння процесів зношування та розробку стратегій підвищення тривалості його служби. Така проблема вимагає глибокого аналізу та дослідження для забезпечення оптимального використання різального інструменту в промисловому виробництві.

Мета та завдання. Дослідження процесів зношування різального інструменту при свердлінні та розробка рекомендацій щодо оптимізації його експлуатації та підвищення тривалості служби.

Об'єкт дослідження. Процеси зношування різального інструменту при свердлінні в галузі металообробки.

Предмет дослідження. Зношування різального інструменту.

Методи. Використання статистичних методів досліджень. Проведення досліджень на практиці.

Новизна результатів.

1. Викладення причин і механізму зношування свердл.
2. Отримання математичної моделі визначення оптимальних режимів для оптимальної стійкості інструменту.

ВСТУП

У сучасному промисловому виробництві надзвичайно важливою складовою, яка визначає якість та продуктивність процесів, є різальний інструмент. Використання різального інструменту в різних галузях промисловості, таких як металообробка, деревообробка, обробка пластмас та багато інших, дозволяє отримувати високоякісні деталі та вироби. Проте, при використанні різального інструменту виникає проблема його зношування, що може призвести до зменшення якості оброблюваних виробів та збільшення витрат на заміну інструменту.

Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні є актуальним завданням в галузі металообробки та машинобудування. Ефективне використання різального інструменту передбачає розуміння процесів зношування та розробку стратегій підвищення тривалості його служби. Така проблема вимагає глибокого аналізу та дослідження для забезпечення оптимального використання різального інструменту в промисловому виробництві.

Метою даної дипломної роботи є дослідження процесів зношування різального інструменту при свердлінні та розробка рекомендацій щодо оптимізації його експлуатації та підвищення тривалості служби. Для досягнення цієї мети буде проведено аналіз літературних джерел, експериментальні дослідження та обробка отриманих даних.

Дана дипломна робота спрямована на вирішення практичних завдань в галузі металообробки та може бути корисною для підприємств, які займаються виготовленням деталей із металу та інших матеріалів.

Предмет дослідження даної роботи є зношування різального інструменту.

Об'єкт дослідження – процеси зношування різального інструменту при свердлінні в галузі металообробки.

Відповідно до поставленої мети, впливають такі завдання, які будуть вирішуватися в процесі роботи:

1. Викласти теоретичні основи поняття зношення різальних інструментів, а також фактори що впливають на зношування різального інструменту.

2. Вивчити особливості технологічного процесу сверлиння, а також відповідно використовуючийся до різних умов інструмент.

3. Розглянути применімі методи дослідження зношення.

4. Дослідити зношення різального інструменту при свердлінні.

Теоретичною основою дослідження послужили вітчизняні та зарубіжні публікації з досліджуваної та суміжних тем, документи методичного характеру: положення, методичні вказівки. Під час написання магістерської дисертації було використано наукову, навчальну, методичну, нормативно-довідкову та іншу літературу.

Емпіричною базою роботи є матеріали наукової технічної літератури та глобальної мережі Інтернет, дані, що були опубліковані в статтях, публікаціях, проаналізовані та узагальнені в роботі.

Науково-практична значущість даної магістерської дисертації полягає в тому, що висновки та пропозиції, які містяться в ній, можуть бути в майбутньому використані для удосконаленні процесу свердління в металообробці шляхом вивчення та аналізу зношування різальних інструментів. Розуміння причин і механізму зношування дозволить розробити ефективні стратегії підвищення терміну служби інструментів.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

1.1. Поняття та види зношування різального інструменту

Під час механічної обробки поверхні існує явище, яке не можна виключити, а саме зношування інструменту.

Ріжучий інструмент є складовою частиною механічної системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь». При цьому інструмент (за незмінних інших складових) чинить вирішальну дію на ефективність цієї системи. Ступінь цього впливу у свою чергу багато в чому залежить від надійності інструменту [9]. Разом з тим, стан інструменту в процесі обробки постійно змінюється, оскільки робочі поверхні його леза перебувають у контакті з стружкою, що переміщуються відносно них і поверхнями на оброблюваній деталі (заготівлі), що супроводжується їхнім зносом і руйнуванням.

Знос ріжучого інструменту – це неминучий процес, який спричиняється різними факторами і може призвести до зниження продуктивності та якості роботи інструменту, але за допомогою певних запобіжних заходів і догляду можна збільшити його термін служби та уникнути небажаних наслідків.

Знос різального інструменту – це процес поступового погіршення його робочих властивостей і геометричних параметрів унаслідок взаємодії з оброблюваним матеріалом. У процесі роботи різальний інструмент піддається механічному і термічному впливу, що призводить до його зносу [3].

Знос може проявлятися в різних формах, таких як стирання, обламування, затуплення і деформація. Він може бути рівномірним або нерівномірним, залежно від умов експлуатації та властивостей матеріалу, з яким працює інструмент.

Знос ріжучого інструменту є неминучим процесом, який відбувається під час його використання. Однак, занадто швидке або нерівномірне

зношування може призвести до зниження якості обробки, збільшення часу операції та підвищення витрат на заміну інструменту.

Тому важливо контролювати та управляти зносом різального інструменту, щоб забезпечити ефективну та надійну роботу обладнання.

Знос різального інструменту може проявлятися в різних формах і мати різні види. Розглянемо основні види зносу:

Абразивне зношування виникає під час обробки матеріалів, що містять тверді частинки, такі як пісок, глина або металеві окалини. Ці частинки можуть проникати між різальною кромкою інструменту і оброблюваною поверхнею, що призводить до стирання і втрати гостроти різальної кромки.



Рисунок 1 – Абразивне зношування інструменту

Такий знос переважно спостерігається при різанні чавуну, високовуглецевих та легованих інструментальних сталей, що мають у структурі досить тверді зерна карбідів, а також при обробці виливків з твердою та забрудненою кіркою. Для зниження інтенсивності абразивного зношування:

- підвищують твердість інструментів;
- використовують збільшені швидкості різання;
- підвищують температуру [2].

Адгезивне зношування виникає під час зіткнення металевих поверхонь за високих температур і тисків. Метали можуть зчіплюватися між собою і утворювати шар на ріжучій кромці інструменту, що призводить до її зносу.

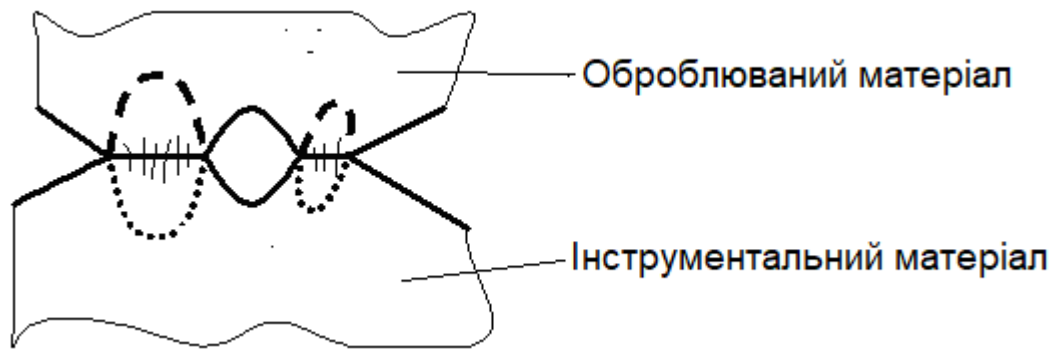


Рисунок 2 – Адгезійний знос інструменту

Адгезійний знос є основним видом зносу різальних інструментів по металу. Він проявляється при терті будь-яких твердих поверхонь. Інші види зносу при цьому можуть бути відсутніми. Адгезійний знос супроводжується вириванням з поверхонь інструменту дрібних частинок стружкою та поверхнею різання заготовки внаслідок дії між ними значних сил молекулярного зчеплення (прилипання, зварювання) та відносного ковзання. Такий вид зносу переважно спостерігається при механічній обробці пластичних металів, особливо важкооброблюваних сталей (жаростійких, нержавіючих та ін.). Швидкість руйнування робочих поверхонь інструментів при адгезійному зносі збільшується при обробці деталей на знижених оборотах та високій шорсткості контактуючих поверхонь. У вирішенні даної проблеми допомагають:

- встановлення високошвидкісних режимів обробки;
- використання твердосплавних інструментів;

– застосування спеціальних змащувально-охолоджуючих рідин, що утворюють на поверхнях плівки, що перешкоджають схоплювання [2].

Дифузійний знос виникає під час взаємодії між ріжучим інструментом і оброблюваним матеріалом за високих температур. Матеріали можуть дифундувати в структуру інструменту, що призводить до його деформації і втрати властивостей. Збільшенню інтенсивності руйнувань сприяє підвищення температури та швидкості різання. Це пояснює той факт, що дифузійне зношування, в першу чергу, характерний для твердосплавних інструментів, які контактують із заготовками при температурі від 900 до 1200 °С.

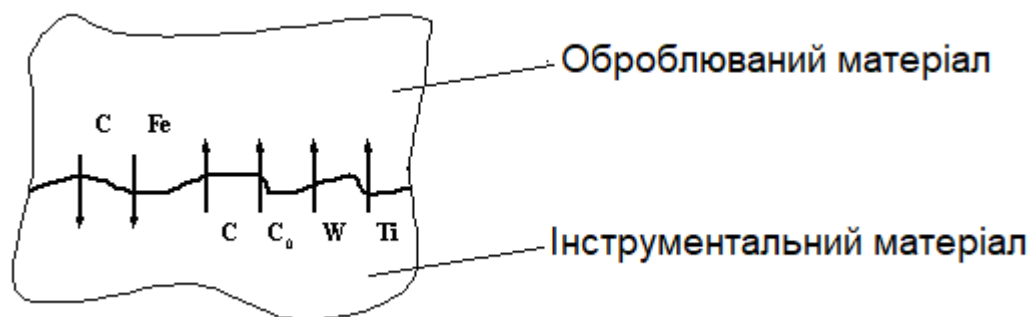


Рисунок 3 – Дифузійний знос ріжучого інструменту

Зменшити інтенсивність дифузійного зносу допомагає використання ріжучих інструментів, виготовлених із двокарбідних сплавів групи ТК, але це не актуально при обробці чавуну та кольорових металів. У цих випадках застосовуються інструменти з однокарбідних сплавів ВК, що дає кращі результати.

Термічний знос виникає під час обробки матеріалів з високою теплопровідністю, таких як метали. За високих температур, що генеруються під час різання, інструмент може нагріватися і втрачати свою твердість і міцність.

Механічний знос виникає під час взаємодії ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом. Це може бути викликано тертям, ударними

навантаженнями або неправильним вибором режимів обробки. До цього виду зносу відносять викрошування та появу сколів:

Причиною викрошування стає наявність дефектів (тріщин, нерівностей та ін.) на робочій поверхні інструменту. Під впливом навантажень дрібні частинки відокремлюються і відносяться стружкою.

Під появою сколів розуміють відокремлення від робочих поверхонь частинок великих розмірів. Найчастіше це відбувається при глибокому різанні на низьких швидкостях.

Знос ріжучого інструменту може мати серйозні наслідки для процесу обробки та якості виробу. Розглянемо основні з них:

Зношений різальний інструмент може призвести до зниження точності обробки. Під час зносу ріжуча кромка може стати тупою або мати нерівності, що призводить до неоднорідності розмірів і форми оброблюваних деталей.

Зношений інструмент може залишати сліди на оброблюваній поверхні, такі як подряпини або шорсткості. Це може призвести до погіршення якості поверхні виробу і вимагати додаткової обробки або полірування.

Зношений інструмент може вимагати більш тривалого часу обробки, оскільки він стає менш ефективним у знятті матеріалу. Це може призвести до збільшення часу циклу обробки і зниження продуктивності.

Зношений інструмент вимагає заміни або ремонту, що може призвести до додаткових витрат на придбання нового інструменту або його відновлення. Це може бути значною статтею витрат для підприємства.

Зношений інструмент стає більш крихким і схильним до поломки. Це може призвести до аварійних ситуацій, пошкодження оброблюваної деталі або навіть травм оператора.

Загалом, знос ріжучого інструменту може мати серйозні наслідки для процесу обробки і вимагає постійного контролю і заміни інструменту для забезпечення якісної та ефективної обробки.

1.2. Фактори, що впливають на зношування різального інструменту

Знос ріжучих інструментів у машинобудуванні – це одна з найбільш актуальних та важливих проблем, з якою стикаються виробники та інженери. У пошуках оптимальних рішень для підвищення ефективності обробки матеріалів та зниження витрат ми неминуче стикаємося з численними факторами, які впливають на знос ріжучих інструментів. Ці фактори можуть бути різноманітними та включати властивості матеріалів, параметри обробки, налаштування обладнання та навіть зовнішні умови. Розглянемо основні фактори, які впливають на знос ріжучих інструментів у машинобудуванні, та способи їх оптимізації для досягнення максимальної продуктивності та терміну служби інструментів.

Вплив матеріалу оброблюваної деталі на знос ріжучого інструменту є одним з ключових факторів, які варто враховувати в машинобудуванні та інших галузях обробки матеріалів. Різні матеріали можуть викликати різний ступінь зносу ріжучих інструментів через такі основні чинники [9]:

1. Твердість матеріалу: Матеріали з вищою твердістю, наприклад, метали або кераміка, можуть спричинити більший знос на ріжучому інструменті, оскільки вони можуть бути більш абразивними.

2. Теплопровідність: Матеріали з високою теплопровідністю, такі як метали, можуть спричиняти швидший знос ріжучих інструментів через високу теплопровідність, яка виводить тепло від області обробки.

3. Змащення: Деякі матеріали можуть мати низьку змащеність, що також впливає на знос ріжучого інструменту. Відсутність змащення може призвести до зносу інструменту внаслідок тертя.

4. Вміст абразивних компонентів: Деякі матеріали можуть містити абразивні компоненти, такі як кремній або карбіди, які можуть посилювати знос ріжучих інструментів.

5. Температура обробки: Висока температура обробки матеріалу може також спричиняти знос ріжучих інструментів, особливо якщо це поєднується

з іншими факторами, такими як висока твердість та висока швидкість обробки.

Урахування матеріалу оброблюваної деталі є важливою частиною вибору правильного ріжучого інструменту та параметрів обробки для досягнення оптимальних результатів та мінімізації зносу.

Швидкість різання – один з найважливіших факторів, що впливає на знос ріжучого інструменту в машинобудуванні та обробці матеріалів. Швидкість різання визначається швидкістю переміщення ріжучого інструменту відносно оброблюваного матеріалу і вимірюється в одиницях довжини на одиницю часу (зазвичай метри на хвилину або футів на хвилину). Вплив швидкості різання на знос ріжучого інструменту полягає в наступному:

Занадто висока швидкість різання може призвести до значного зносу ріжучого інструменту через надмірну теплову та механічну дію на інструмент. Це може викликати відшаровування чи злам інструменту.

Надто низька швидкість різання може спричинити знос через тертя та теплові навантаження, особливо при обробці матеріалів з високою твердістю.

Швидкість різання повинна бути належно налаштована для конкретного матеріалу та інструменту. Правильно підібрана швидкість дозволяє досягти найкращих результатів обробки та мінімізує знос ріжучого інструменту.

Переривчастий різ або нерівномірна швидкість різання також може призвести до зносу ріжучого інструменту через нерівномірне навантаження.

Подача є ще одним важливим фактором, що впливає на знос ріжучого інструменту в машинобудуванні та обробці матеріалів. Подача визначає швидкість, з якою ріжучий інструмент зсовується або просувається під час процесу обробки матеріалу. Вплив подачі на знос ріжучого інструменту включає в себе наступне:

Занадто велика подача може призвести до значного зносу ріжучого інструменту через надмірне механічне навантаження та тертя. Швидка подача може також спричинити відшаровування або злам інструменту.

Занадто низька подача може призвести до зносу через теплові навантаження та тертя, особливо при обробці матеріалів з високою твердістю.

Оптимальна подача повинна бути налаштована з урахуванням конкретного матеріалу і типу інструменту. Важливо дотримуватися рекомендованої подачі для досягнення найкращих результатів обробки і мінімізації зносу ріжучого інструменту.

У літературі [21] велика увага приділяється температурі різання, яка при досягненні певних значень призводить до зміни фізико-механічних характеристик інструменту фізико-механічних характеристик інструменту та оброблюваного матеріалу. матеріалу, що обробляється. Багато досліджень приписують досить істотну роль у зносі різального інструменту температурі, при цьому вплив температури на знос трактується таким чином, що при підвищенні температури знос інтенсифікується.

Мастильно-охолоджувальна рідина має значущий вплив на знос та тривалість служби ріжучого інструменту в машинобудуванні. Ця рідина використовується для змащення і охолодження інструменту під час обробки деталей. Вплив мастильно-охолоджувальної рідини на знос ріжучого інструменту полягає в наступному:

Мастильно-охолоджувальна рідина забезпечує змащення контакту між ріжучим інструментом і оброблюваним матеріалом. Це допомагає зменшити тертя та знос ріжучої кромки інструменту. Відповідний вибір мастильно-охолоджувальної рідини і її правильне використання є ключовими для забезпечення ефективного змащення.

Ріжучий процес може супроводжуватися значним нагріванням інструменту та деталі. Мастильно-охолоджувальна рідина служить для відведення тепла і охолодження інструменту та деталі. Це допомагає

запобігти перегріванню, яке може спричинити зниження тривалості служби інструменту.

Деякі мастильно-охолоджувальні рідини також містять добавки, які запобігають корозії інструменту та оброблюваних деталей.

Враховуючи вищезазначені аспекти, правильний вибір та належне використання мастильно-охолоджувальної рідини може значно вплинути на тривалість служби ріжучого інструменту та якість обробки деталей в машинобудуванні.

1.3. Методи вимірювання та оцінки зношування

Передчасний вихід з ладу різальних інструментів призводить до простою обладнання, до зайвої витрати матеріалів і робочої сили. З'ясувати причини зношування інструменту за різних умов механічного оброблення дають змогу різні методи вимірювання та оцінки зносу. Знос по задній поверхні ріжучих інструментів зазвичай проявляється у вигляді площадки зносу, яка характеризується висотою зносу. Знос по передній поверхні зазвичай має вигляд лунки з параметрами довжини, ширини та глибини.

Існуючі методи вимірювання зносу інструменту можна поділити на прямі (коли вимірюється безпосередньо кромка різального інструменту) і непрямі (коли вимірюється параметр процесу різання).

Пряме вимірювання зносу і стану ріжучої кромки інструменту може проводитися різними контактними (спеціальними вимірювальними щупами, вагове зношування, об'ємне зношування) і безконтактними методами (наприклад, за допомогою оптичних приладів). До прямих належать методи радіоактивних ізотопів; мікрометричного вимірювання; застосування оптико-електронного пристрою вимірювання зносу; електромеханічний; пневматичний та інші методи.

Непрямі методи дають змогу оцінити стан інструменту безпосередньо в процесі оброблення за параметрами процесу різання. До параметрів, найбільш придатних до вимірювання, можна віднести: сили різання;

вібродинаміку різання; електромагнітні явища, що виникають під час різання; температуру в зоні різання; термо-ЕРС різання; віброакустичний сигнал зони різання. У практиці широкого поширення набувають такі методи як: метод вимірювання шорсткості, метод вимірювання сил різання і крутного моменту, метод вимірювання потужності різання, метод термо-ЕДС та інші [18].

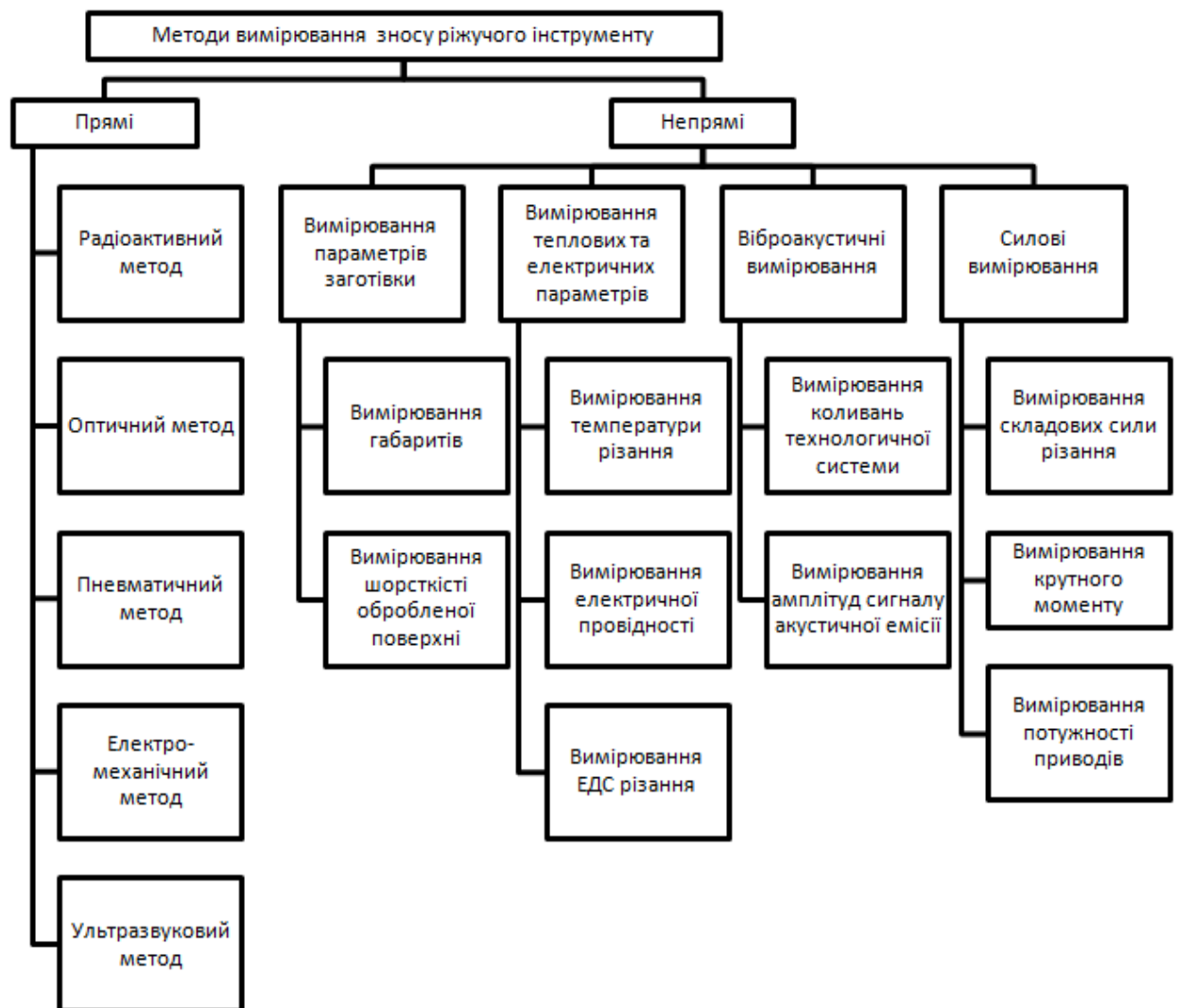


Рисунок 4 – Методи вимірювання зносу

Кожен із перелічених вище методів має певну сферу застосування, більшість методів дорогі, потребують складних технічних засобів. При виборі методу керуються такими критеріями:

- інваріантність вимірюваного параметра до режимів і умов обробки;
- швидкодія алгоритмів розпізнавання на основі цього методу;
- точність вимірювання;
- надійність і довговічність отриманої оцінки;
- простота технічної реалізації (вартість).

Найточнішими є прямі методи вимірювання, з яких простішим є метод мікрометричного вимірювання. Даним методом можна виміряти зменшення розміру від вершини ріжучого леза інструмента до певної базової поверхні або точки на інструменті, наприклад, на державці різця в напрямках, нормальних до оброблюваної поверхні. Це зношування, що безпосередньо впливає на точність механічного оброблення, призводячи до похибок форми і розміру оброблюваних деталей, називається розмірним зношуванням. Такий вимір можна проводити або за допомогою мікроскопів, або іншими точними вимірювальними приладами.

Зазвичай, для найточнішої оцінки ступеня зносу ріжучого інструменту в машинобудуванні використовується комбінація декількох методів.

Вимірювання та оцінка зносу ріжучого інструменту в машинобудуванні є важливими завданнями, оскільки вони допомагають підтримувати ефективність обробки матеріалів та заощаджувати гроші. Різні методи, такі як вимірювання глибини зносу, визначення геометричних параметрів, акустичні методи, вимірювання температури, вимірювання потужності, візуальна оцінка та вимірювання деформації, можуть бути використані для оцінки ступеня зносу. Інтегруючи ці методи, оператори машин та інженери можуть приймати рішення щодо заміни ріжучого інструменту у відповідний момент, що підвищує продуктивність та забезпечує високу якість обробки матеріалів. Важливо зауважити, що незалежно від методу вимірювання, відслідковування ступеня зносу ріжучих інструментів є важливою частиною процесу машинобудування та підтримує економічну та технічну ефективність виробництва.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СВЕРДЛІННЯ

Свердлення є одним із важливих процесів у металообробці, який полягає у видаленні матеріалу з виробів за допомогою спеціального інструменту, відомого як свердло. Цей процес відіграє ключову роль у виготовленні деталей для різних галузей промисловості та має велике значення для виробництва машин, обладнання та багатьох інших виробів.

Важливість свердлення полягає в тому, що воно надає можливість створювати отвори різного розміру та форми в матеріалах, таких як метали, дерево, пластмаси та інші. Ці отвори потім можуть бути використані для з'єднання деталей, закріплення кріпильних елементів або як частина більш складних металевих конструкцій.

Усе це робить свердлення незамінним процесом у виробництві, будівництві та ремонті. Поряд з іншими методами металообробки, такими як токарний та фрезерний обробка, свердлення вносить вагому ланку у виготовленні продукції, що задовольняє потреби сучасного суспільства.

Процес свердлення має давню історію та коріння. Цей метод обробки матеріалів став першою ланкою у процесі виготовленні отворів у різних матеріалах.

Спочатку свердла були виготовлені з простих матеріалів, таких як камінь, кістка або дерево. Вони використовувалися для свердлення отворів у дерев'яних, кісткових або кам'яних виробах. У середньовіччі в металообробці також використовувалися примітивні свердла для створення отворів у металевих виробах.

З винайденням металевих інструментів свердлення отримало новий поштовх у розвитку. Розвиток металургії та обробки металів призвів до створення більш технологічних свердел, які були здатні обробляти металеві вироби. Вперше відомий великий внесок у розвиток свердлення зробив Леонардо да Вінчі, який в XV столітті створив креслення, де були показані концепції нових типів свердел.

Протягом подальших століть процес свердлення постійно вдосконалювався. З винайденням парової машини та індустріальної революції у XIX столітті, механізоване свердлення стало реальністю. Нові технології та матеріали дозволили створити більш продуктивні та довговічні свердла.

У XX столітті з розвитком комп'ютерної технології та чисельного керування машинами свердлення отримало нові можливості у точності та автоматизації. Сучасні верстати з ЧПК дозволяють створювати складні вироби з точністю до мікронів, що раніше було неможливим.

Загалом, історія свердлення свідчить про постійний розвиток та вдосконалення цього процесу, який сьогодні є невід'ємною частиною промисловості та технології.

2.1. Опис процесу свердління

Свердління – це спосіб обробки різанням циліндричних отворів у суцільному металі. Процес свердління відбувається за двох спільних рухів (малюнок 5): обертання свердла або деталі навколо осі отвору (головний рух) зі швидкістю V і поступальний рух свердла уздовж осі (рух подачі) зі швидкістю s . Під час виконання операції свердління на свердлильному верстаті свердло здійснює обидва рухи – обертання навколо своєї осі та поступальний уздовж осі, водночас оброблювану деталь закріплено нерухомо на столі верстата. Під час виконання свердління на токарних верстатах обертається оброблювана деталь, а свердло здійснює тільки поступальний рух.

При свердлінні досягається точність за 11-13 квалітетом; шорсткість обробленої поверхні до $Rz\ 40$. Особливості процесу різання при свердлінні:

1. Змінна величина переднього кута γ і головного заднього кута α по довжині ріжучої кромки.
2. Наявність поперечної кромки, яка не ріже, а мнє метал.

3. Ускладнено відведення стружки і підведення МОР у зону різання.
4. Труднощі конструктивного забезпечення високої жорсткості свердла.

Елементи режимів різання і геометрія шару, що зрізається при свердленні представлені на рисунку 5.

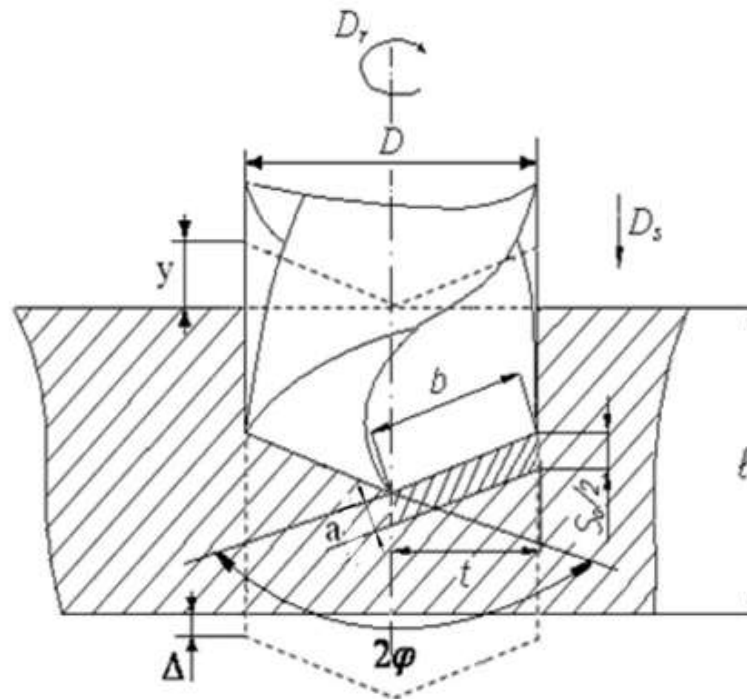


Рисунок 5 – Елементи режимів різання та геометрії зрізаємого шару

1. Швидкість головного руху $V = \frac{\pi D n}{1000}$
2. Глибина різання $t = \frac{D}{2}$
3. Подача на оборот S_0 (мм/об), на кожну ріжучу кромку припадає величина, рівна $\frac{S_0}{2}$
4. Швидкість руху подачі (хвилинна подача) $S_{xb} = S_0 * n$
5. Геометрія шару, що зрізається:
 - товщина шару, що зрізається $a = \frac{S_0}{2} * \sin \varphi$
 - ширина шару, що зрізається $b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{D}{2 \sin \varphi}$

– площа шару, що зрізається $f = a * b = \frac{S_0 D}{4}$

Свердління, як правило, передує таким операціям як розточування або розгортання. Спільним для всіх цих операцій є поєднання обертального та поступального руху інструмента. Існує велика відмінність між свердлінням отворів невеликої глибини і глибоких отворів, для обробки яких розроблено спеціальні методи, що дають змогу свердлити отвір глибиною, яка у багато разів перевищує діаметр інструмента.

З розвитком інструменту для обробки коротких отворів послідовність процесу свердління і підготовка до нього зазнають істотних змін. Сучасний інструмент дає змогу засвердлюватися в суцільний матеріал і не потребує попереднього зацентрування отворів. Досягається висока якість поверхні і, найчастіше, відпадає необхідність у подальшій чистовій обробці отвору.

У певному сенсі свердління можна порівняти з операціями точіння і фрезерування, але при свердлінні приділяється більше значення евакуації стружки. Обробка в обмеженому просторі отвору накладає певні вимоги щодо контролю за стружкоутворенням. Більшість деталей мають неглибокі отвори, тому необхідно збільшувати швидкість їхнього оброблення, поряд із підвищенням якості та ступеня надійності оброблення.

Свердління в суцільному матеріалі є одним із найпоширеніших методів виготовлення отвору заданого діаметра за одну операцію.

Свердло являє собою ріжучий інструмент для обробки отворів в суцільному матеріалі, або для розсвердлювання отворів при двох рухах, що одночасно відбуваються: обертанні свердла навколо його осі і поступальному русі подачі вздовж осі інструменту.

Через велику різноманітність процес свердління зайняв значне місце в різних галузях промисловості для створення отворів у деталях і виробах. Цей процес є важливим і широко використовується в таких галузях, як

металообробка, будівництво, обробка дерева, автомобільна промисловість та багато інших. Ось деякі приклади використання свердління в різних галузях:

Металообробка: У металообробці свердління використовується для створення отворів у металевих заготовках, які можуть бути використані для з'єднання деталей чи створення кріпильних отворів.

Будівництво: У будівництві свердління використовується для створення отворів у бетоні, дереві та інших матеріалах для монтажу різноманітних конструкцій і деталей.

Обробка дерева: В деревообробці свердління використовується для створення отворів для монтажу дерев'яних деталей, які використовуються в меблевому виробництві та інших галузях.

Автомобільна промисловість: У виробництві автомобілів свердління використовується для створення отворів для кріплення різноманітних деталей і вузлів автомобіля.

Ремонт і сервісне обслуговування: У ремонтних майстернях та сервісних центрах свердління використовується для видалення пошкоджених кріпильних елементів і створення нових отворів для заміни деталей.

Це лише декілька прикладів використання свердління в різних галузях, і цей процес має широкий спектр застосувань у промисловості та будівництві.

2.2. Типи свердл та їх особливості

Свердла залежно від властивостей оброблюваного матеріалу мають ріжучу частину з таких матеріалів:

Вуглецеві сталі (У8, У9, У10, У12 тощо): Свердління і розсвердлювання дерева, пластмас, м'яких металів.

Низьколеговані сталі (Х, В1, 9ХС, 9ХВГ тощо): Свердління і розсвердлювання дерева, пластмас, м'яких металів. Підвищена порівняно з вуглецевими теплостійкість (до 250 °С) і швидкість різання.

Швидкорізальні сталі (P9, P18, P6M5, P9K5 тощо): Свердління всіх конструкційних матеріалів у незагартованому стані. Теплостійкість до 650 °С.

Свердла, оснащені твердим сплавом, (BK3, BK8, T5K10, T15K6 тощо): Свердління на підвищених швидкостях незагартованих сталей і кольорових металів, свердління загартованих сталей. Теплостійкість до 950 °С. Можуть бути цільними, з напайними пластинами, або зі змінними пластинами (кріпляться гвинтами) [27].

Свердла, оснащені металокерамічним сплавом: Свердління загартованих сталей і білого чавуну, скла, кераміки.

За способом виготовлення свердла бувають:

Цілісні – спіральні свердла зі швидкорізальної сталі марок P9, P18, P6M5 діаметром до 8 мм, або з твердого сплаву діаметром до 6 мм.

Зварні – спіральні свердла діаметром понад 8 мм виготовляють зварними (хвостову частину з вуглецевої, а робочу частину зі швидкорізальної сталі).

Оснащені твердосплавними пластинками – бувають із прямими, косими і гвинтовими канавками.

Зі змінними твердосплавними пластинами – так само називаються корпусними. Здебільшого, використовуються для свердління отворів від 12 мм і більше [4].

У промисловості застосовуються такі основні типи сверدل: спіральні, перові, гарматні, рушничні, кільцевого свердління, центрувальні, спеціальні.

Спіральне свердло є основним типом свердл, найбільш поширеним у промисловості. Воно використовується при свердлінні та розсвердлюванні отворів діаметром до 80 мм.

Перові свердла відомі з давніх часів. Так, наприклад, в археологічних розкопках були знайдені їх прототипи у вигляді лопатки з твердого матеріалу, загостреної на кінці і призначеної для свердління отворів в більш м'яких матеріалах. З часу появи металообробки перові свердла постійно

вдосконалювалися. Сучасні конструкції перових свердел показані на рисунку 6 нижче [5].

Цілісні перові свердла (рисунк 6а) виготовляють із прутка шляхом кування або фрезерування ріжучої частини у формі пластини, яка заточується на конус під кутом $2\phi = 118^\circ$. При цьому утворюються дві головні та дві допоміжні ріжучі кромки. Заточуванням двох плоских задніх поверхонь створюється задній кут $\alpha = 10...12^\circ$. При перетині цих поверхонь утворюється поперечна ріжуча кромка (перемичка). Якщо передні поверхні плоскі, то передні кути на головних ріжучих кромках мають від'ємні значення, що небажано через зростання силового навантаження на свердло і появу вібрацій.

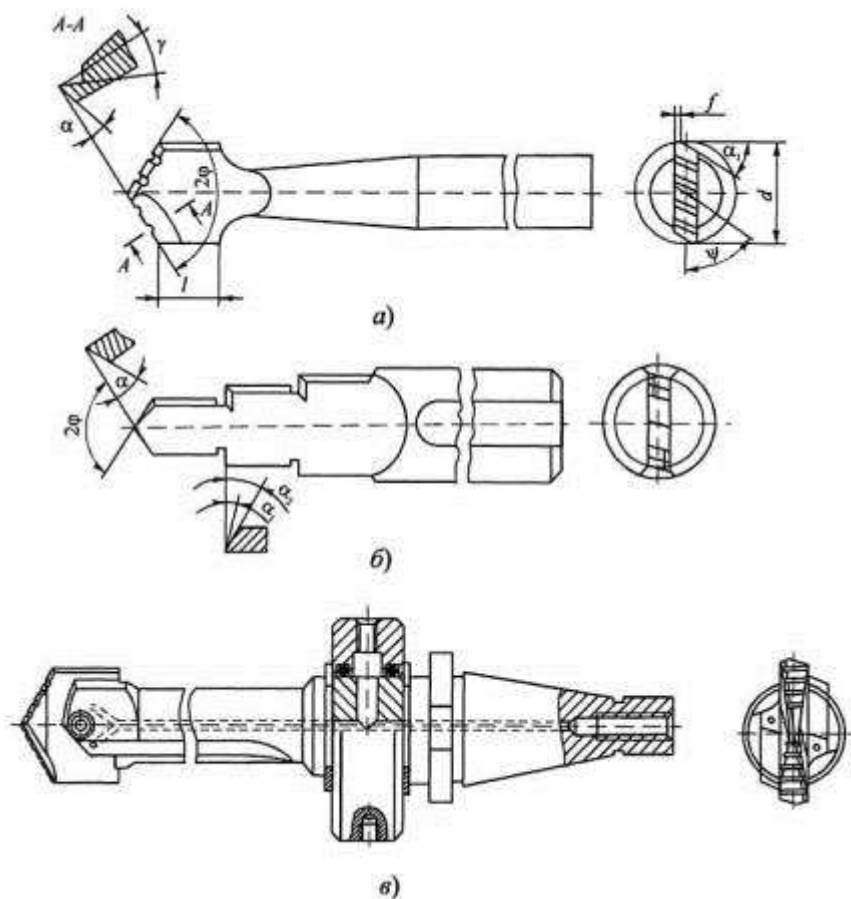


Рисунок 6 – Сучасні перові свердла

Приклади вдосконалення конструкцій перових свердел показані на позиціях б і в. Конструкція на рисунку бб застосовується для свердління неглибоких ступінчастих отворів на верстатах-автоматах; дає змогу скоротити кількість операцій і, отже, інструментів. Друга конструкція (рисунок бв) являє собою збірне перове свердло з ріжучою змінною пластиною, що закріплюється в стрижні будь-якої довжини. Для поліпшення відведення стружки передбачається її поділ за шириною за допомогою стружкодроблячих канавок на задніх поверхнях. Через патрон і отвір у стрижні можна подавати під тиском МОР, яка одночасно з відведенням тепла із зони різання вимиває стружку з отвору.

Набір швидкозмінних пластин, різних за діаметром, дає змогу скоротити номенклатуру свердел і витрати на їх виготовлення. Такі свердла останніми роками стали широко застосовувати на багатоопераційних верстатах із ЧПК, головним чином під час розсвердлювання отворів.

Перевагами перових свердел є простота конструкції, а також можливість виготовлення їх будь-якого діаметра і довжини навіть в умовах ремонтних майстерень.

До недоліків перових свердел можна віднести:

- ускладнені умови відведення стружки;
- схильність до вібрацій через малу жорсткість ріжучої частини;
- невеликий запас на переточування;
- низьку продуктивність процесу свердління через малі значення подачі і у зв'язку з необхідністю періодичного виведення свердла з отвору для звільнення від стружки.

Спіральні або, правильніше, гвинтові, свердла були вперше показані на Всесвітній торговельній виставці в 1867 р. американською фірмою Морзе. До теперішнього часу основні особливості їхньої конструкції збереглися практично незмінними (див. рисунок 7).

З усіх відомих конструкцій свердел спіральні свердла знайшли найбільше застосування завдяки таким перевагам:

- хорошому відведенню стружки з оброблюваного отвору через наявність гвинтових канавок;
- позитивним переднім кутам на більшій довжині головних ріжучих крайок;
- великому запасу на переточування, яке проводиться по задніх поверхнях і може виконуватися вручну або на спеціальних заточувальних верстатах, зокрема верстатах-автоматах;
- хорошому напрямку свердла в отворі через наявність калібрувальних стрічок на зовнішній поверхні калібрувальної частини інструменту.

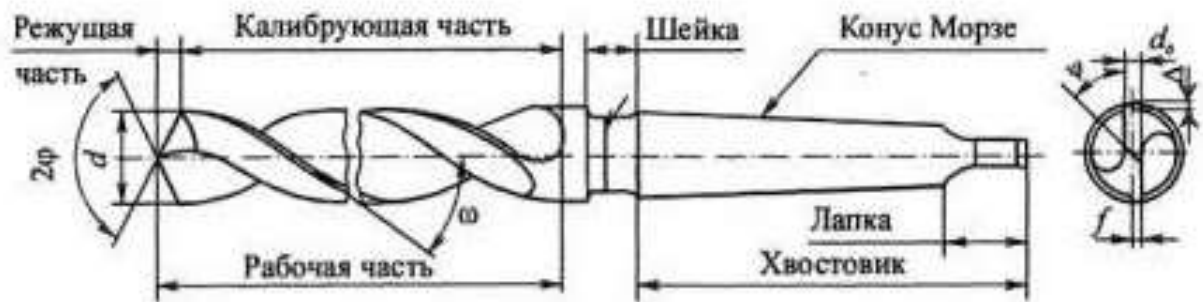


Рисунок 7 – Спиральне свердло

Основні конструктивні елементи та геометричні параметри спіральних свердел показані на малюнку нижче. На конічній ріжучій частині з кутом 2φ при вершині розташовані дві головні ріжучі кромки – лінії перетину гвинтових передніх і задніх поверхонь. Форма задніх поверхонь визначається методом заточування. У результаті перетину двох задніх поверхонь утворюється поперечна ріжуча кромка, нахилена до головної ріжучої кромки під кутом ψ . Ця кромка розташовується на серцевині свердла з умовним діаметром $d_0 = (0,15 \dots 0,25) \cdot d$, де d – діаметр свердла. Дві допоміжні ріжучі кромки лежать на перетині передніх поверхонь і циліндричних

калібрувальних стрічок, які спрямовують свердло в отворі й утворюють калібрувальну частину свердла. Кут нахилу допоміжних крайок до осі свердла ω визначає здебільшого величину передніх кутів γ на головних ріжучих кромках, які змінні за величиною в різних точках цих кромок.

Ріжуча і калібрувальна частини свердла складають його робочу частину. Стандартні спіральні свердла виготовляють діаметром 0,1...80 мм із допусками за А8...А9.

Хвостовики бувають двох типів: конічні (типу Морзе) з лапкою на кінці для свердел $d = 6...80$ мм і циліндричні для свердел $d = 0,1...20$ мм.

Спіральні свердла мають складну геометрію різальної частини, що пояснюється наявністю великої кількості кромок і складних конфігурації передніх і задніх поверхонь.

Кут при вершині 2ϕ , який відіграє роль головного кута у плані. У стандартних свердл $2\phi = 116 \dots 120^\circ$. При цьому головні ріжучі кромки строго прямолінійні і збігаються з лінійчастою гвинтовою передньою поверхнею. При заточенні свердлів кут заточування (2ϕ) може бути змінений в межах від 70° до 135° . При цьому ріжучі кромки стають криволінійними, змінюються співвідношення ширини і товщини стружки, що зрізається, і величини передніх кутів на головних ріжучих кромках. Відповідно змінюються ступінь деформації зрізаного припуску, сили та температура різання та умови відведення стружки, а отже і знос.

Для обробки глибоких отворів існують спеціальні сверла, які володіють особливими конструкційними особливостями, що дозволяють їм ефективно виконувати це завдання. Ці сверла можуть використовуватися в різних галузях промисловості та мають деякі характеристики, які роблять їх ідеальними для створення глибоких отворів [10].

Існує 2 типи спеціальних свердлів для обробки глибоких отворів: рушничні (а) та гарматні (б) (рисунк 8).

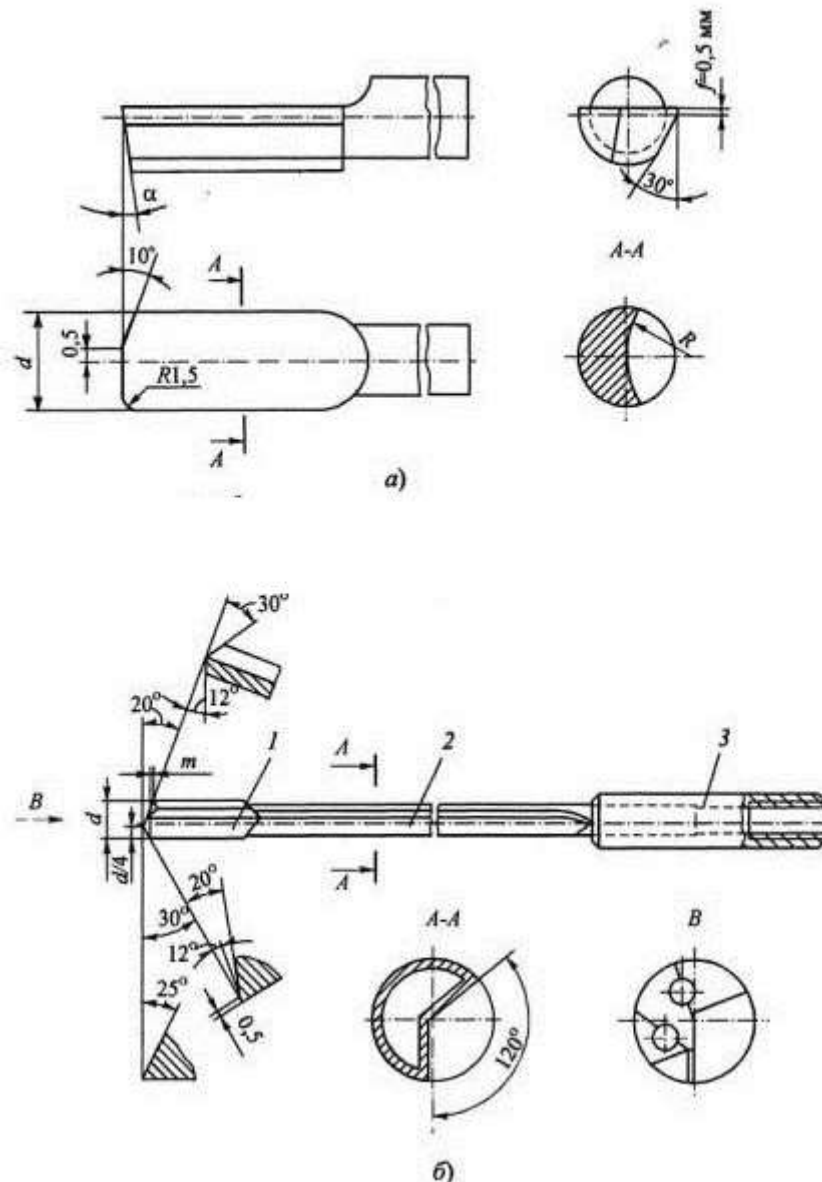


Рисунок 8 – Свердла для обробки глибоких отворів

Робоча частина гарматного свердла являє собою напівкруглий стрижень, плоска поверхня якого є передньою поверхнею (рисунок 8а). На торці стрижня створюється ріжуча кромка, перпендикулярна осі свердла. Задня торцева площина свердла заточується під кутом $\alpha = 10 \dots 20^\circ$.

Для кращого спрямування свердло має циліндричну опорну поверхню, на якій зрізаються лиски під кутом $30\text{-}45^\circ$ і робиться зворотний конус порядку $0,03\text{-}0,05$ мм на 100 мм довжини робочої частини. У результаті цього

зменшується тертя свердла об стінки оброблюваного отвору. Гарматне свердло працює у важких умовах, має несприятливу геометрію передньої поверхні, не забезпечує безперервного процесу різання, оскільки для видалення стружки доводиться періодично виводити свердло з отвору.

Рушничні свердла (рисунок 8б) на відміну від гарматних мають внутрішній канал для підведення МОР і пряму (іноді гвинтову) канавку для зовнішнього відведення пульпи (суміш стружки і МОР). Вони застосовуються для свердління отворів глибиною $(5...100)d$ і діаметром $1...30$ мм. Спочатку рушничні свердла використовували для свердління стволів вогнепальної зброї. Нині рушничні свердла набули широкого поширення в усіх галузях машинобудування, головним чином для свердління глибоких отворів на спеціальних верстатах в умовах багатосерійного і масового виробництва. Завдяки оснащенню твердим сплавом і внутрішній подачі МОР вони забезпечують високу продуктивність під час свердління отворів з мінімальним відведенням осі за високої точності (Н8...Н9) і низької шорсткості поверхні отворів ($Ra\ 0,32...1,25$) [23].

Типова конструкція рушничного свердла складається з ріжучого твердосплавного наконечника 1 (рисунок 8б) з отвором для підведення СОЖ, трубчастого стебла 2 зі сталі типу 30ХМА з V-подібною канавкою для відведення стружки, отриманої методом холодної пластичної деформації, і циліндричного хвостовика 3.

При обробці в суцільному матеріалі отворів діаметром понад 50 мм застосовують кільцеві свердла (рисунок 9).

При суцільному свердлінні отворів діаметром понад 50 мм утворюється великий об'єм стружки, що вимагає значних витрат потужностей та інструментальних матеріалів. Зусилля різання при цьому різко зростають.

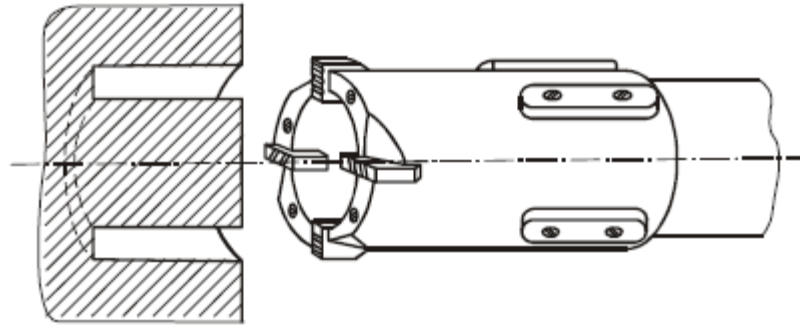


Рисунок 9 – Свердло кільцевого свердління

Щоб уникнути цього, використовують спосіб кільцевого свердління, який полягає в прорізанні кільцевої канавки в заготівлі із залишенням недоторканої серцевини, яку надалі можна використовувати як заготовку інших деталей. За рахунок зниження силового навантаження на свердло можна значно збільшити подачу, а отже, і продуктивність процесу свердління.

Через отвори в корпусі інструмента в зону різання під тиском подається МОР, яка видаляє стружку через проміжок між свердлом і зовнішньою стінкою кільцевої канавки, утвореної в заготівлі. Для полегшення транспортування стружки передбачено її розподіл по ширині за рахунок спеціальної заточки ножів. Для більш стійкого положення свердла в отворі на корпусі голівки кріпляться напрямні планки з твердої пластмаси, наприклад з поліаміду.

Для дроблення стружки зазвичай на передніх поверхнях ріжучих крайок заточують уступи. Однак надійніше дроблення стружки досягається в разі застосування кінематичного методу з накладенням коливань на рух подачі свердла.

При токарній обробці для отримання центрових отворів широко застосовуються комбіновані centruвальні свердла (рисунок 10). Залежно від форми центрових отворів centruвальні свердла діляться на типи: А, В, R та

ін. Центрувальні свердла являють собою комбінацію двох інструментів: свердла та зенкера – і складаються, відповідно, з свердловинної та зенкувальної частин. З метою підвищення загальної стійкості свердла центрувальні виготовляють двосторонніми.

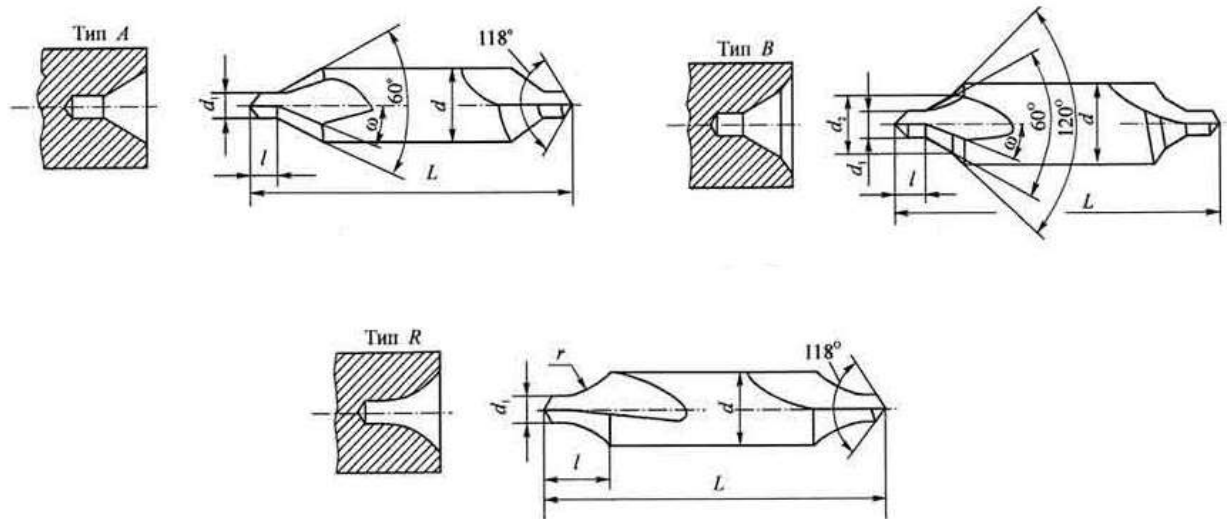


Рисунок 10 – Центрувальні свердла

Зінкувальна частина має форму ріжучих кромок, що забезпечують отримання конусних ділянок центрових отворів. У свердл типу В передбачені ріжучі кромки для обробки запобіжної фаски. Передня поверхня зенковочної частини є продовженням передньої поверхні свердловинної частини, а задня поверхня потилюється одночасно з потиленням спинки свердловинної частини. У свердл типу R ріжучі кромки зенковочної частини виконані по радіусу. Така форма центрових отворів забезпечує кращу самоустановку валів у центрах та підвищену міцність свердлів.

Отже бачимо, що існує велика кількість типів свердел, кожне з яких призначене для конкретних завдань та матеріалів. Вибір правильного типу свердла має велике значення для успішного завершення робіт з обробки матеріалів. Знання особливостей кожного типу свердла допоможе досягти більшої точності та ефективності при свердлінні отворів.

2.3. Вплив параметрів свердління на зношування інструменту

Ріжучий інструмент на операціях свердління працює в умовах впливу ряду руйнівних факторів, обумовлених високими температурами, контактними напругами, активним перебігом фізико-хімічних процесів, що призводить до його зношування в умовах абразивного впливу оброблюваного матеріалу, адгезійних, дифузійних та окислювальних процесів, розміцнення локальних об'ємів матеріалу.

Оскільки за статистикою близько 80% усіх свердлильних робіт виконуються спіральними свердлами, то саме на їхньому прикладі розглянемо особливості процесу різання.

Процес різання при свердлінні багато в чому аналогічний точенню, але має низку своїх особливостей. Під час свердління мають місце такі фізичні явища, як укорочення стружки та її завивання, виділення тепла, наростоутворення, зміцнення поверхневого шару (наклеп), тертя стружки об поверхню гвинтової канавки, тертя задньої поверхні об поверхню різання тощо. Процес різання при свердлінні протікає в більш важких, ніж точіння, умовах. Насамперед, це наявність поперечної кромки (перемички), яка не ріже, а мнє метал, спричиняючи значні сили опору на цій ділянці свердла; у процесі різання беруть участь дві головні ріжучі кромки і дві допоміжні ріжучі кромки [17].

Порівняно з точінням евакуація стружки при свердлінні більш обмежена, підведення змащувально-охолоджувальної рідини в зону різання також ускладнене. Крім того, ріжучі кромки свердла протягом від периферії до центру мають змінний передній кут. Змінюється також і швидкість різання по довжині ріжучої кромки, що зі свого боку позначається на зміні деформації в суміжних елементах по всій довжині ріжучої кромки: деформація стружки до центру свердла збільшується.

У процесі свердління ріжуча частина свердла з плином часу зношується. Свердла здебільшого зношуються внаслідок тертя задніх поверхонь об поверхню різання, стружки об передню поверхню, напрямних

стрічок об оброблену поверхню, а також зім'яття поперечної кромки (перемички).

Вплив різних чинників на знос свердел по задніх поверхнях під час обробки конструкційної сталі може бути виражений такою емпіричною формулою [25]:

$$h = C v^{4.85} * s^{2.35} * T^{1.42}$$

З цієї формули випливає, що найбільший вплив на знос свердла має швидкість різання і значно менший вплив – подача. Тому з погляду зносу свердла краще працювати з більшою подачею і меншою швидкістю різання, що за заданої стійкості T забезпечує більшу продуктивність процесу свердління.

Допустима величина фаски зносу спіральних свердел на куточках призначається залежно від оброблюваного матеріалу і наводиться в нормативах за режимами свердління.

Отже, вплив параметрів свердління на зношування інструменту вельми важливий у процесі обробки матеріалів в машинобудуванні. Висока швидкість різання, неправильна подача, оброблюваний матеріал і відсутність належного охолодження можуть призвести до збільшеного зношування інструменту, що впливає на ефективність процесу і збільшує витрати на заміну інструменту.

Для досягнення оптимальних результатів і підтримки тривалої служби інструменту важливо правильно налаштовувати параметри свердління, враховуючи характеристики матеріалу, який обробляється. Використання відповідних систем охолодження та змащування також є важливим чинником у попередженні зношування інструменту.

3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

3.1. Лабораторні методи дослідження

Лабораторні методи дослідження зносу ріжучого інструменту надають унікальні можливості для детального аналізу структури, форми та механізмів зносу, що є критичним для оптимізації виробничих процесів.

Мікроскопія є ключовим лабораторним методом для аналізу поверхні різального інструменту. Вона надає унікальні можливості для спостереження дрібних деталей, вимірювання розмірів і оцінки ступеня зносу. У дослідженнях зносу різального інструменту можуть застосовуватися різні види мікроскопії, такі як оптична мікроскопія та електронна мікроскопія.

Оптична мікроскопія:

Оптичний мікроскоп використовує видиме світло для збільшення зображення зразка. Світло проходить через об'єктив, збільшується, потім потрапляє на окуляр, формуючи збільшене зображення.

Оптична мікроскопія має такі переваги:

- висока роздільна здатність і чіткість зображень;
- можливість роботи у звичайних умовах освітлення;
- широкий вибір методів забарвлення для виявлення деталей.

Оптична мікроскопія дає змогу візуалізувати та вимірювати дрібні поверхневі дефекти, сліди зносу та зміни на мікрорівні.

Електронна мікроскопія:

Електронний мікроскоп використовує пучок електронів замість світла для формування зображення. Електрони мають коротку довжину хвилі, що забезпечує високу роздільну здатність.

Електронна мікроскопія має такі переваги:

- дуже висока роздільна здатність (до кількох нанометрів);
- можливість дослідження деталей на атомарному рівні;

- можливість використання різних режимів, таких як растрова електронна мікроскопія (SEM) та трансмісійна електронна мікроскопія (TEM) [24].

Електронна мікроскопія дає змогу досліджувати мікроструктуру поверхні інструменту і виявляти зміни на нанометровому рівні, що особливо корисно під час вивчення дрібних дефектів і слідів зносу.

Інтерферометрія – це сімейство методів вимірювань, у яких складаються хвилі, зазвичай електромагнітні, спричиняючи явище інтерференції, що використовується для вилучення інформації.

Інтерферометричні методи широко застосовуються для вимірювання висоти зносу з високою точністю. Цей метод забезпечує можливість отримання тривимірних карт зносу, що дає змогу не тільки визначити ступінь, а й оцінити форму і розподіл зносу на поверхні інструменту.

Інтерферометрія дає змогу точно вимірювати висоту зносу, створюючи зображення з інтерференційних смуг. Методи інтерферометрії можуть використовуватися для створення карти висоти поверхні інструменту, що забезпечує тривимірне представлення зносу. Інтерферометричні вимірювання дають змогу аналізувати форму і профіль зносу з високою точністю, що важливо для визначення механізмів зносу. Висока чутливість інтерферометрії дає змогу виявляти мікрозміни та пошкодження на поверхні, які можуть бути упущені за інших методів дослідження.

Розрізняють такі типи інтерферометрії:

- хвильова інтерферометрія: ґрунтується на хвилях світла і зміні їхньої фази під час відбиття від поверхні об'єкта.

- лазерна інтерферометрія: використовує лазерне світло для створення інтерференції та забезпечує високу чутливість і роздільну здатність.

- інтерферометрія з використанням когерентних джерел світла: інтерферометрія, яка використовує когерентні джерела світла для створення інтерференційних малюнків.

До переваг використання інтерферометрії належать:

- високу точність вимірювань, яка може бути не досягнута іншими методами;
- методи інтерферометрії зазвичай безконтактні, що унеможливорює ризик пошкодження поверхні інструмента під час вимірювань;
- може виявляти навіть невеликі зміни на поверхні, що є критичним під час дослідження зносу.

Дослідження зносу інструменту з використанням інфрачервоної термографії є потужним методом для оцінювання стану та ефективності інструменту в різних галузях, як-от промисловість, будівництво, авіація та медицина.

Інфрачервона термографія заснована на тому, що всі тіла випромінюють інфрачервоне випромінювання залежно від своєї температури. При використанні інфрачервоної камери, яка здатна сприймати інфрачервоне випромінювання, можна візуалізувати і виміряти теплове випромінювання об'єктів.

Інфрачервона термографія дає змогу вимірювати температуру на поверхні інструменту. Зміни температури можуть вказувати на точки тертя, знос, або навіть потенційні проблеми, такі як перегрів. Гарячі точки на поверхні інструменту можуть бути ознакою неоднорідного зносу або проблем з ефективністю. Інфрачервона термографія виділяє ці гарячі точки, що полегшує виявлення місць можливих проблем.

Термограми, отримані за допомогою інфрачервоної термографії, надають візуальне уявлення теплового розподілу на поверхні інструменту. Це дає змогу дослідникам аналізувати, як тепла енергія розподіляється вздовж інструменту.

Інфрачервона термографія може бути використана для оцінки ефективності систем охолодження інструменту.

Дослідження зносу інструменту з використанням акустичних сигналів – це метод, який ґрунтується на аналізі звукових хвиль, що створюються в

процесі роботи інструменту. Цей метод широко використовується в різних галузях, таких як виробництво, обробка матеріалів, обслуговування обладнання та діагностика машин.

Принцип дії цього методу ґрунтується на тому, що кожен інструмент має свою унікальну звукову сигнатуру, яка змінюється залежно від його стану та ефективності. Зміни в звукових характеристиках можуть свідчити про наявність зносу, деформацій або інших несправностей.

Зміни в акустичних сигналах протягом часу можуть свідчити про динаміку процесу зносу. Це дає змогу виявляти поступове погіршення стану інструменту і вживати заходів щодо його обслуговування.

Для реєстрації акустичних сигналів використовуються мікрофони та інші акустичні датчики, розміщені близько до робочої зони інструменту. Це дає змогу точно реєструвати звукові хвилі, створювані в процесі роботи.

Металографічний аналіз – це метод дослідження матеріалів, що ґрунтується на мікроскопічному вивченні металевих структур та їхніх змін. Цей метод дає змогу детально вивчати структурні дослідження матеріалів на рівні мікроскопічних деталей.

Перед проведенням металографічного аналізу досліджувана поверхня має бути попередньо підготовлена: прошліфована, заполірована і протравлена хімічними реагентами. Ці процедури дають змогу отримати чисту поверхню і виділити металографічні структури.

Після підготовчої операції зразки поміщаються під оптичний мікроскоп, оснащений системою освітлення і лінзами високого збільшення. Дослідження проводять за різних збільшень для отримання докладних зображень структури матеріалу. Отримані зображення фіксуються за допомогою камери мікроскопа. Документація результатів дослідження містить фотографії, описи структур, а також вимірювання розмірів зерен та інших параметрів.

Металографічний аналіз дає змогу виявляти ознаки зносу, такі як зміни форми, тріщини, деформації та структурні зміни на мікрорівні. Ці дані

можуть бути інтерпретовані для оцінки ступеня зносу і механізмів, що викликають знос. Цей метод дає змогу ідентифікувати різні фази матеріалу і структури зерен. Це важливо для розуміння матеріальних властивостей і мікроструктурних особливостей, що впливають на знос.

Аналіз структур допомагає визначити механізми зносу, такі як абразивний, адгезивний, фрикційний та інші. Це важливо для розроблення стратегій запобігання зносу і поліпшення довговічності інструменту.

Лабораторні методи дослідження зносу ріжучого інструменту відіграють ключову роль у визначенні чинників, що впливають на довговічність і ефективність інструменту. Комбінування різних методів забезпечує комплексний аналіз зносу, що дає змогу розробникам інструментів та інженерам з виробництва оптимізувати процеси різання та покращувати якість виробництва. Результати лабораторних досліджень забезпечують цінну інформацію для створення більш довговічних і ефективних ріжучих інструментів.

3.2. Експериментальні методи на виробництві

Експериментальні методи дослідження зносу інструменту на виробництві охоплюють широкий спектр технік, призначених для оцінки ступеня зносу, виявлення дефектів і визначення причин зносу.

Візуальні методи, такі як регулярні огляди інструменту з вимірюванням ключових розмірів, є первинним і важливим способом моніторингу стану інструменту на виробництві [13].

Регулярні візуальні огляди інструменту з вимірюванням ключових розмірів можуть допомогти виявити явні ознаки зносу, такі як зношені кромки, тріщини або деформації.

Інфрачервона термографія – це технологія, що використовує інфрачервоне випромінювання для візуалізації теплових розподілів на поверхні об'єктів. У контексті дослідження зносу інструменту на

виробництві, інфрачервона термографія надає цінну інформацію про теплові зміни, пов'язані зі зносом і тертям.

Інфрачервона термографія заснована на вимірюванні інфрачервоного випромінювання, що випромінюється поверхнею об'єкта. Тепловізійна камера реєструє інфрачервоні випромінювання в різних точках поверхні і перетворює їх на зображення, де різні кольори або відтінки представляють різні температури.

Під час зносу або тертя в місцях контакту виникають теплові аномалії через підвищене тертя і виділення тепла. Ці зміни в температурі можуть бути виявлені та візуалізовані за допомогою тепловізійної камери.

Інфрачервона термографія дає змогу виявляти ділянки з підвищеною температурою, що може вказувати на проблеми, як-от зношування, тертя, нерівномірний розподіл тепла або навіть наявність прихованих дефектів.

Моніторинг звуку в процесі роботи інструменту є важливим методом для оцінки його стану. Аналіз звукових сигналів може надати інформацію про різні аспекти, такі як зношування, тертя, адгезія та інші несправності [1].

Датчики або мікрофони встановлюються поблизу інструменту для безперервного моніторингу звукових сигналів. Звукові дані можуть реєструватися в реальному часі або зберігатися для подальшого аналізу. Звукові сигнали піддаються спектральному аналізу, який розділяє їх на різні частоти. Зміни в частотному спектрі можуть вказувати на різні аспекти роботи інструменту, як-от зношування, тертя або навіть неоднорідності в матеріалі. Звукові сигнали можуть бути порівняні з нормативними значеннями або з даними, отриманими в нормальних умовах роботи інструменту. Відхилення від звичайної звукової сигнатури можуть вказувати на потенційні проблеми.

Аналіз вібрацій є ефективним методом для оцінки стану інструменту, даючи змогу виявляти різні аспекти, як-от знос, дефекти, розбалансування та інші проблеми.

Датчики вібрації встановлюються на інструменті для реєстрації коливань. Ці дані можуть бути потім проаналізовані з використанням спеціальних приладів або програмного забезпечення для аналізу вібрацій [11].

Зареєстровані вібрації аналізуються з точки зору їх частотних характеристик. Спектральний аналіз виділяє різні компоненти частот і їхньої інтенсивності, що дає змогу виявляти особливі особливості, пов'язані зі зносом або іншими проблемами.

Рентгенівська дефрактометрія може бути використана як метод дослідження зносу матеріалів, особливо коли зміни в структурі кристалічної решітки пов'язані зі зносом поверхні матеріалу.

Шляхом аналізу змін у дифракційних візерунках, отриманих з поверхні матеріалу, можна визначити ступінь зносу. Зміни в розподілі інтенсивності дифракційних плям можуть вказувати на зміни в структурі через зношування.

Рентгенівська дефрактометрія дає змогу виявляти мікроструктурні зміни, такі як утворення мікротріщин, рекристалізація матеріалу або зміни в розмірах кристалів.

У режимі реального часу або під час наступних вимірювань рентгенівську дефрактометрію можна використовувати для моніторингу динаміки зносу та виявлення змін у структурі під час довготривалого експлуатаційного впливу.

Ці методи можуть використовуватися в комбінації для більш повного аналізу стану інструменту. Експериментальні методи відіграють важливу роль у забезпеченні надійності, ефективності та безпеки виробничих процесів.

3.3. Визначення критеріїв зношування

Визначення критеріїв зносу різального інструменту є важливим етапом у процесі моніторингу та обслуговування обладнання. Різні типи інструментів можуть проявляти різні ознаки зносу, і критерії можуть

варіюватися залежно від конкретного виду інструменту і матеріалу, з яким він працює.

У загальному випадку критерій зносу – це зношення (затуплення) ріжучої частини до такого критичного стану, коли експлуатація інструменту недоцільна з технічних або економічних причин.

Розглянемо деякі найбільш часто використовувані критерії зносу:

1. Зменшення розмірів:

Зменшення розмірів ріжучого інструменту може бути результатом поступового зниження обсягу матеріалу на кромці інструменту. Це особливо часто спостерігається в областях, де матеріал інтенсивно контактує з оброблюваною поверхнею. Знос кромки відбувається через багаторазові цикли контакту з матеріалом, що призводить до мікроскопічного видалення матеріалу. Зменшення розмірів може також відбуватися через відшарування частини матеріалу.

Оцінка ступеня зносу включає в себе вимірювання розмірів кромки, щоб визначити, наскільки вони відрізняються від початкових. Це може здійснюватися з використанням інструментів точного вимірювання, таких як мікрометри або штангенциркулі. Візуальне спостереження за змінами у формі кромки також є важливим методом. Оптичні пристрої, такі як мікроскопи, можуть використовуватися для детального вивчення кромки і виявлення змін.

2. Поява тріщин:

Тріщини в матеріалі інструменту можуть формуватися через повторювані цикли навантажень або циклічне нагрівання в процесі різання матеріалів. Це особливо характерно для інструментів, що працюють із твердими або абразивними матеріалами.

Утворення тріщин може призвести до погіршення механічних властивостей інструменту, таких як міцність і стійкість до втоми, що в кінцевому підсумку позначається на його працездатності.

3 Зміна кольору або текстури поверхні:

Знос може викликати підвищені температури в точках контакту, що може призвести до термічного фарбування поверхні інструменту. Такі зміни можуть бути пов'язані з процесами окислення або зміною структури поверхневого шару. Також постійне тертя і контакт з матеріалами можуть призвести до механічного зносу поверхні, змінюючи її текстуру і, отже, зовнішній вигляд.

Окислення матеріалу інструменту може призвести до зміни його кольору. Наприклад, окислені метали можуть набувати різних відтінків, що може слугувати ознакою хімічного впливу на поверхню.

4. Підвищений рівень вібрації:

Знос ріжучих елементів інструменту може призвести до зміни його балансу, що спричиняє додаткові вібрації в процесі роботи. Нерівномірне зношування може створювати нерівномірні сили і призводити до збільшення вібрацій.

Підвищені рівні вібрації можуть позначатися на точності обробки, особливо в разі прецизійних інструментів. Це може призвести до неправильних розмірів, нерівної поверхні та інших дефектів. Вібрації також можуть призвести до додаткових втрат енергії та зниження ефективності процесу обробки.

5. Збільшення споживаної потужності:

Підвищений знос ріжучих елементів може збільшувати силу тертя в процесі різання, що призводить до збільшення споживаної потужності. Затуплення ріжучої кромки або деформація інструмента може знижувати його ефективність, що вимагає більше енергії для виконання обробки.

Збільшення споживаної потужності може супроводжуватися зростанням енерговитрат, що може збільшувати експлуатаційні витрати. Ба більше, збільшення споживаної потужності може свідчити про проблеми в роботі інструмента, що може становити небезпеку для безпеки операторів і навколишнього середовища.

6. Зміна звукової сигнатури:

Поступове зношування ріжучих елементів може призводити до зміни їхньої форми та стану, що впливає на звук, створюваний під час контакту з оброблюваним матеріалом. Тріщини, стружка та інші дефекти, що виникають через зношування, також можуть змінювати звукові характеристики інструменту.

Зміна звукової сигнатури може слугувати індикатором зносу ріжучих елементів, попереджаючи про необхідність технічного обслуговування або заміни.

7. Погіршення якості обробки:

Якщо якість обробки погіршується, це може бути ознакою зносу. Знос може призвести до неоднорідної обробки, більш шорсткої поверхні або інших дефектів.

Необхідність у додатковій обробці через зношування інструменту може призвести до додаткових витрат.

Погіршення якості обробки може підвищити ризик появи дефектів у кінцевих виробках, що може бути небезпечним у деяких галузях, таких як авіаційна або медична промисловість.

Оцінка і моніторинг цих критеріїв можуть допомогти у своєчасному виявленні зносу ріжучого інструменту, що, своєю чергою, дає змогу здійснити необхідні заходи щодо заміни, обслуговування або налаштування обладнання.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ СВЕРДЛІННІ

4.1 Вимірювання та оцінка зношування різального інструменту

Робочі елементи ріжучої частини перебувають у контакті з оброблюваним матеріалом і схильні до підвищеного зносу, що є природним проявом їхніх природних властивостей. У міру зростання напрацювання пошкодження накопичуються, і робочі елементи втрачають працездатність. Накопичення пошкоджень протікає з різною швидкістю залежно від умов експлуатації інструменту.

З урахуванням відносно широкого діапазону варіювання параметрів режимів різання можна припустити і різний внесок кожного конструктивного елемента в знос інструменту.

Для визначення та оцінки зносу свердел було проведено лабораторні дослідження зі свердлами діаметром 5, 6, 7, 8 мм за ГОСТ 10903-77, виготовленими зі сталі Р6М5.

На вертикально-свердлильному верстаті мод. 2Л53У свердлили наскрізні отвори глибиною 1 мм у листовій заготівлі з нержавіючої сталі марки 08Х18Н10 ГОСТ 5632-72 ($\sigma_{\text{в}}=570\text{МПа}$) [22] за частот обертання $n=90$; 120; 244; 355; 960; 1200 об/хв та подачі $s_o=0,2$ мм/об, МОР – 5 % розчин емульсолу.

Заготівля була закріплена на столі верстата за хватами (рисунок 11)



Рисунок 11 – Заготівка для експерименту закріплена на столі свердлильного верстату

Свердла експлуатували до початку процесу критичного зносу. Знос усіх робочих елементів ріжучої частини свердел контролювали через кожні 5 хв робочого часу за допомогою інструментального мікроскопа.

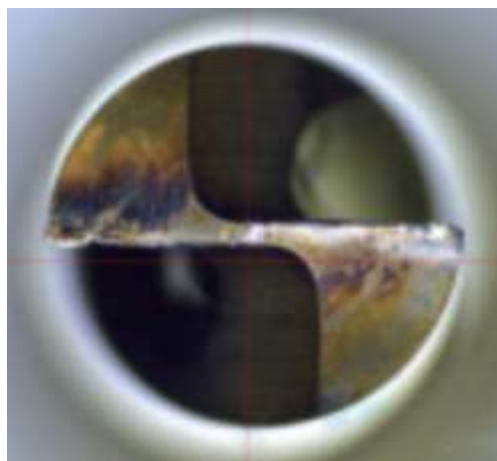


Рисунок 12 – Критичний знос свердла

Характерний вид зносу елементів робочої частини свердел представлений на малюнку 13. Під час свердління отворів мало місце зношування всіх робочих елементів спіральних свердел: головних задніх поверхонь, куточків, стрічок, перемички.

Для оцінки зносу в експерименті лімітуючим приймаємо знос по задній поверхні. Знос по задній поверхні відбувається нерівномірно: більше на периферії свердла і менше в центрі (див. рисунок 13). Це пояснюється тим, що на периферії свердла швидкість різання найбільша, що спричиняє найбільші тепловиділення та швидкість відносного ковзання точок свердла відносно поверхні різання.

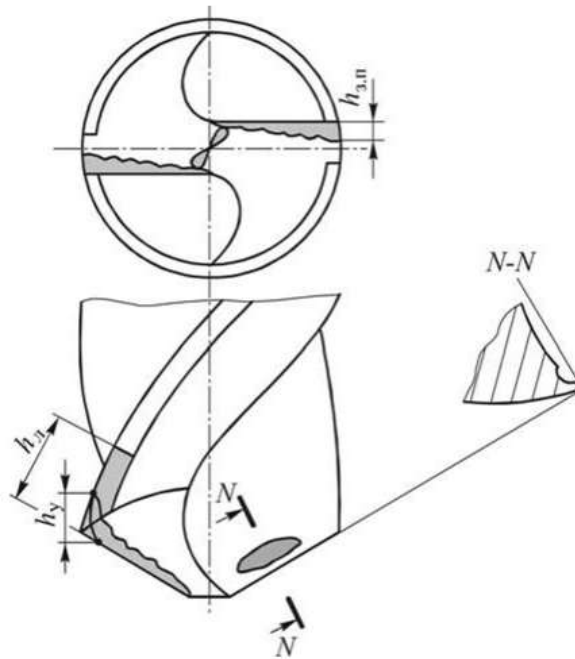


Рисунок 13 – Характерний знос спіральних свердел

За швидкостей різання від 6 до 15 м/хв спостерігалися борозни, перпендикулярні до ріжучого леза, утворення яких може бути пояснене абразивним впливом відокремлених частинок наросту та інструментального матеріалу, тому що ширина борозен значно більша за розміри твердих частинок оброблюваного матеріалу.

Під час роботи зі швидкостями понад 15 м/хв вид зношених задніх поверхонь змінювався – борозни були відсутні. Зіставлення видів зношених поверхонь, отриманих за швидкостей різання від 6 до 15 м/хв, з видами поверхонь, утворених унаслідок адгезійно-абразивного зношування, показало їх значний збіг. Це підтверджує, що під час роботи свердел у зазначеному діапазоні швидкостей різання переважає адгезійно-абразивне зношування.

Перемичка свердел у міру зношування також видозмінювалася. Поступово утворювався конус на вершині свердла, в основі якого формувалася канавка. Після того, як така форма перемички леза утворилася, подальша формозміна істотно не відбувалася. У процесі зносу на свердлі ніби сформувалася найбільш сприятлива геометрія вершини інструменту. Конус, вершина якого розташована на осі свердла в точці з нульовою швидкістю різання, покращує умови впровадження вершини свердла в оброблюваний матеріал. Канавка, що утворилася в основі конуса, сприяла відведенню видавленого металу в стружкові канавки свердла.

4.2 Результати та обґрунтування дослідження

Відповідно до розширеного рівняння Ф. У. Тейлора стійкість різального інструменту (T) так пов'язана з режимами різання:

$$T = \frac{C}{V^m s^q t^p},$$

де V - швидкість різання,

s – подача,

t – глибина різання,

C – постійна величина, що відповідає даній комбінації «інструмент-заготівля» та даної геометрії інструменту,

m, q, p - показники ступеня при швидкості різання, подачі та глибині різання, відповідно, причому $m > q > p$

У виробничих умовах найчастіше доводиться вирішувати завдання визначення одного із складових режиму різання для забезпечення заданого періоду стійкості. Враховуючи ступінь впливу режимних параметрів у більшості випадків доцільно визначати швидкість різання. Отже рівняння Тейлора набуде наступного окремого вигляду:

$$T = \frac{C}{V^m}$$

Для встановлення зв'язку між періодом стійкості T і швидкістю різання V всі параметри різання, крім швидкості, залишаємо постійними. Потім послідовно змінюючи швидкість різання проводимо періодичні виміри зносу. За отриманими вимірами будуюмо криві зносу, які є експериментальним матеріалом отримання залежності $T=f(V)$.

Результати дослідження зносу при свердлінні спіральним свердлом ф5 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Дослідження зносу свердла ф5

№ дос	Діаметр свердління,	Режими різання			Знос по задній поверхні h , мм							
					Час роботи свердла τ , хв							
		S , мм/об	n , об/хв	V , мм/хв	5	10	15	20	25	30	35	40
1	5	0,2	90	1,4	0,05	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,28	0,42
2	5	0,2	120	1,9	0,05	0,11	0,13	0,15	0,18	0,21	0,28	0,44
3	5	0,2	244	3,8	0,06	0,12	0,14	0,16	0,2	0,22	0,28	0,45
4	5	0,2	350	5,5	0,06	0,12	0,15	0,18	0,21	0,23	0,29	0,47
5	5	0,2	960	15,1	0,09	0,14	0,17	0,21	0,24	0,26	0,34	0,52
6	5	0,2	1200	18,8	0,1	0,16	0,19	0,23	0,25	0,28	0,36	0,53

Будуємо криві зносу свердла ф5 за даними отриманими на різних швидкостях різання.

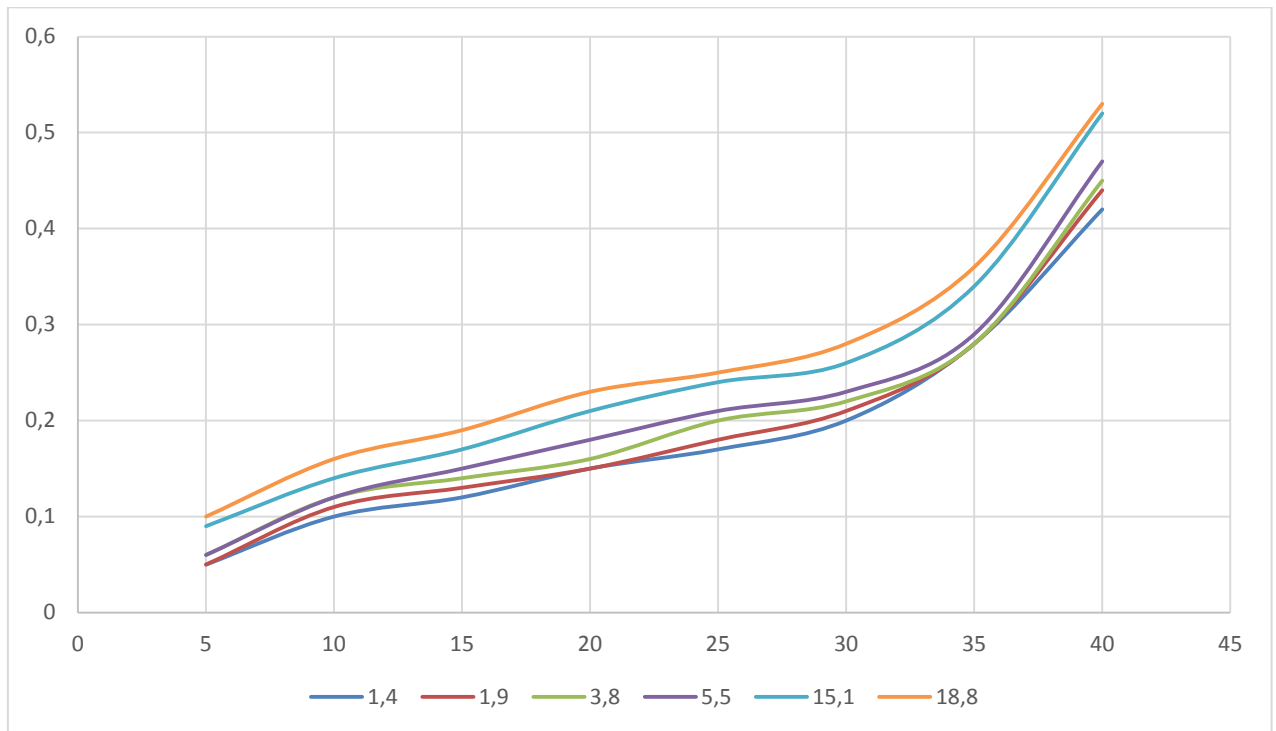


Рисунок 14 – Криві зносу свердла ф5 при різних швидкостях різання

Результати дослідження зносу при свердлінні спіральним свердлом ф6 наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Дослідження зносу свердла ф6

№ дос	Діаметр свердління, D, мм	Режими різання			Знос по задній поверхні hз, мм							
		S, мм/об	n, об/хв	V, мм/хв	Час роботи свердла τ, хв							
					5	10	15	20	25	30	35	40
1	6	0,2	90	1,7	0,05	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,27	0,41

Продовження таблиці 2

2	6	0,2	120	2,3	0,06	0,12	0,13	0,16	0,18	0,21	0,28	0,43
---	---	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

3	6	0,2	244	4,6	0,06	0,13	0,14	0,17	0,19	0,22	0,28	0,45
4	6	0,2	350	6,6	0,07	0,14	0,15	0,18	0,21	0,24	0,3	0,48
5	6	0,2	960	18,1	0,1	0,15	0,17	0,22	0,24	0,26	0,36	0,55
6	6	0,2	1200	22,6	0,11	0,16	0,19	0,23	0,25	0,29	0,37	0,58

Будуємо криві зносу свердла ф6 за даними отриманими на різних швидкостях різання.

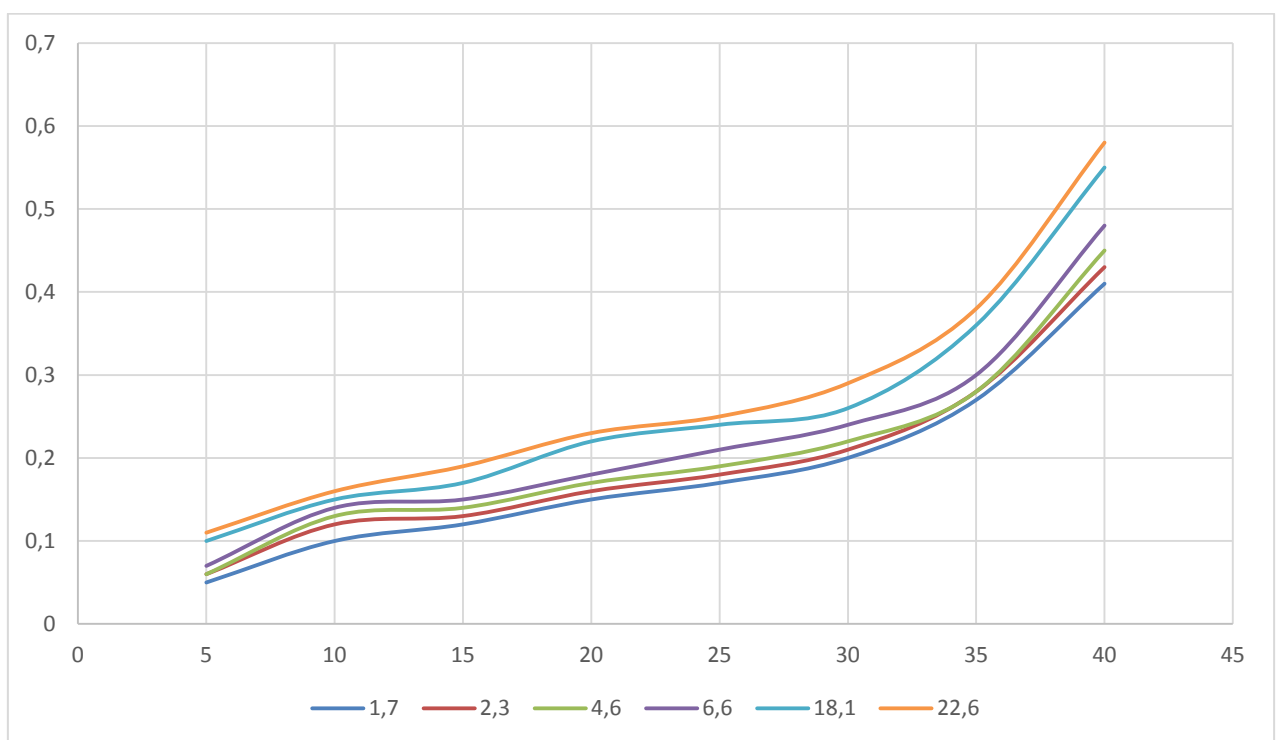


Рисунок 15 – Криві зносу свердла ф6 при різних швидкостях різання

Результати дослідження зносу при свердлінні спіральним свердлом ф7 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Дослідження зносу свердла ф7

№ дос	Діаметр свердління, мм	Режими різання			Знос по задній поверхні h , мм							
		S , мм/об	n , об/хв	V , мм/хв	Час роботи свердла τ , хв							
					5	10	15	20	25	30	35	40
1	7	0,2	90	2,0	0,06	0,11	0,13	0,17	0,18	0,2	0,27	0,43
2	7	0,2	120	2,6	0,07	0,14	0,15	0,18	0,2	0,22	0,29	0,46
3	7	0,2	244	5,4	0,07	0,14	0,16	0,19	0,2	0,23	0,3	0,47
4	7	0,2	350	7,7	0,08	0,14	0,16	0,2	0,2	0,25	0,32	0,49
5	7	0,2	960	21,1	0,1	0,16	0,18	0,24	0,27	0,3	0,38	0,58
6	7	0,2	1200	26,4	0,12	0,18	0,2	0,25	0,28	0,32	0,4	0,6

Будуємо криві зносу свердла $\phi 7$ за даними отриманими на різних швидкостях різання.

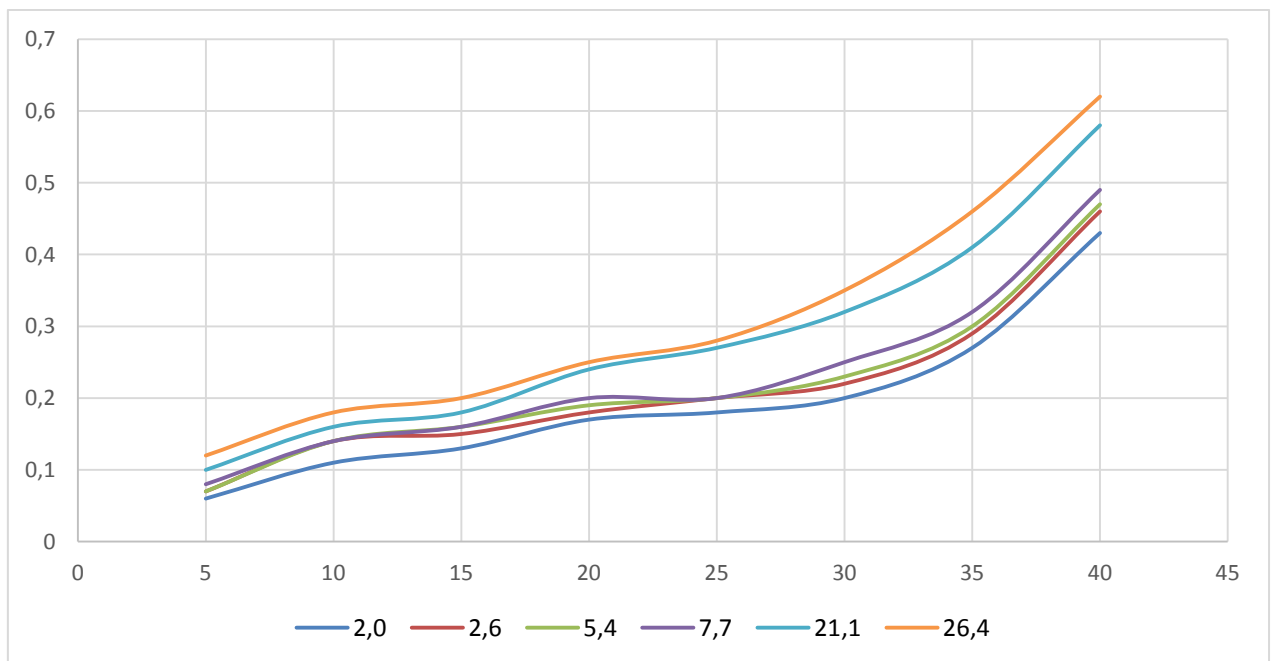


Рисунок 16 – Криві зносу свердла $\phi 7$ при різних швидкостях різання

Результати дослідження зносу при свердлінні спіральним свердлом $\phi 8$ наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Дослідження зносу свердла ф8

№ дос	Діа- тр сверд ління, $D, \text{мм}$	Режими різання			Знос по задній поверхні h , мм							
		S , мм/об	n , об/хв	V , мм/хв	Час роботи свердла τ , хв							
					5	10	15	20	25	30	35	40
1	8	0,2	90	2,3	0,06	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21	0,3	0,44
2	8	0,2	120	3,0	0,08	0,14	0,15	0,18	0,21	0,23	0,31	0,48
3	8	0,2	244	6,1	0,09	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,3	0,5
4	8	0,2	350	8,8	0,1	0,15	0,18	0,21	0,22	0,26	0,32	0,51
5	8	0,2	960	24,1	0,1	0,17	0,2	0,26	0,29	0,33	0,38	0,61
6	8	0,2	1200	30,1	0,12	0,2	0,22	0,28	0,3	0,35	0,4	0,64

Будуємо криві зносу свердла ф8 за даними отриманими на різних швидкостях різання.

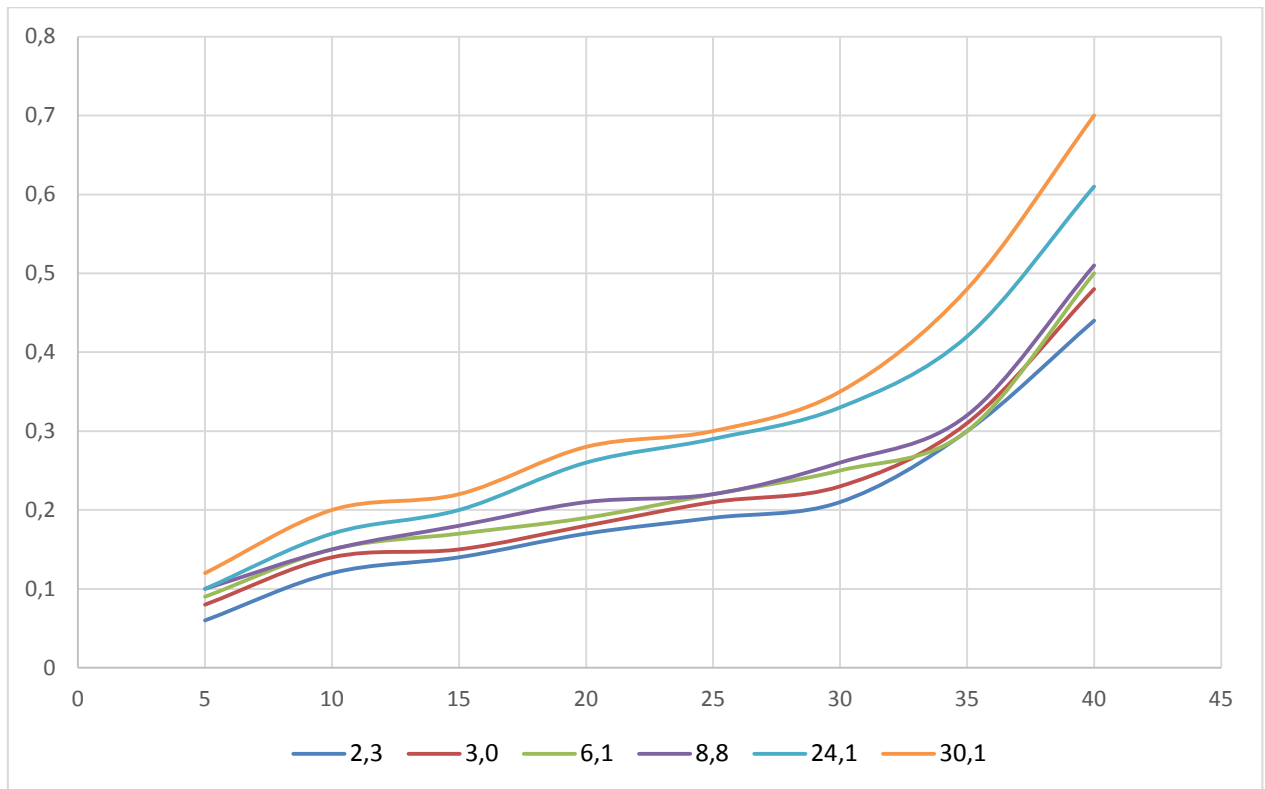


Рисунок 17 – Криві зносу свердла ф8 при різних швидкостях різання

Аналіз залежностей зносу свердел від швидкості різання показує, що вона має нелінійний характер.

Для прийнятого критерію зношування інструмента [hз] визначаємо періоди стійкості T_i для всіх швидкостей різання V_i , які були використані в дослідженнях. За результатами опрацювання графіку складаємо таблицю співвідношень швидкості різання та відповідних періодів стійкості, які використовуємо для побудови графіка залежності періоду стійкості інструменту від швидкості різання $T = f(V)$.

Таблиця 5

Відповідність стійкості свердла ф5 дослідним значенням швидкості різання

Швидкість різання, $V, \text{м/хв}$	1,4	1,9	3,8	5,5	15,1	18,8
Період стійкості, $T, \text{хв}$	36	36	35	35	34	33

Таблиця 6

Відповідність стійкості свердла ф6 дослідним значенням швидкості різання

Швидкість різання, $V, \text{м/хв}$	1,7	2,3	4,6	6,6	18,1	22,6
Період стійкості, $T, \text{хв}$	36	36	35	35	34	34

Таблиця 7

Відповідність стійкості свердла ф7 дослідним значенням швидкості різання

Швидкість різання, $V, \text{м/хв}$	2	2,6	5,4	7,7	21,1	26,4
Період стійкості, $T, \text{хв}$	34	34	34	33	32	32

Таблиця 8

Відповідність стійкості свердла ф8 дослідним значенням швидкості різання

Швидкість різання, $V, \text{м/хв}$	2,3	3	6,1	8,8	24,1	30,1
Період стійкості, $T, \text{хв}$	33	33	32	32	32	30

Отже бачимо, що характерним для досліджуваних свердел є час початку критичного зносу в районі 30-35 хвилин роботи.

З вище вказаного залежність стійкості від швидкості різання виражається формулою:

$$T = \frac{C}{V^z},$$

де C – коефіцієнт пропорційності;

z – показник відносної швидкості.

В даній залежності показник степеню m визначає вплив швидкості різання на період стійкості інструменту, а коефіцієнт пропорційності C визначає сукупний вплив всіх інших умов процесу оброблення за винятком швидкості різання.

Визначимо показник z шляхом побудови графіків залежності періоду стійкості свердла від швидкості різання. Величину показника z застосовуємо

графічно застосовуючи метод випрямлення експериментальних кривих шляхом логарифмування функції. Якщо на координатних осях відкласти логарифми V і $E = T$, то отримаємо наступне рівняння прямої:

$$\lg T = \lg C - z \lg V$$

Тангенс угла наклона этой прямой к оси $\lg V$ будет являться значением искомой степени z .

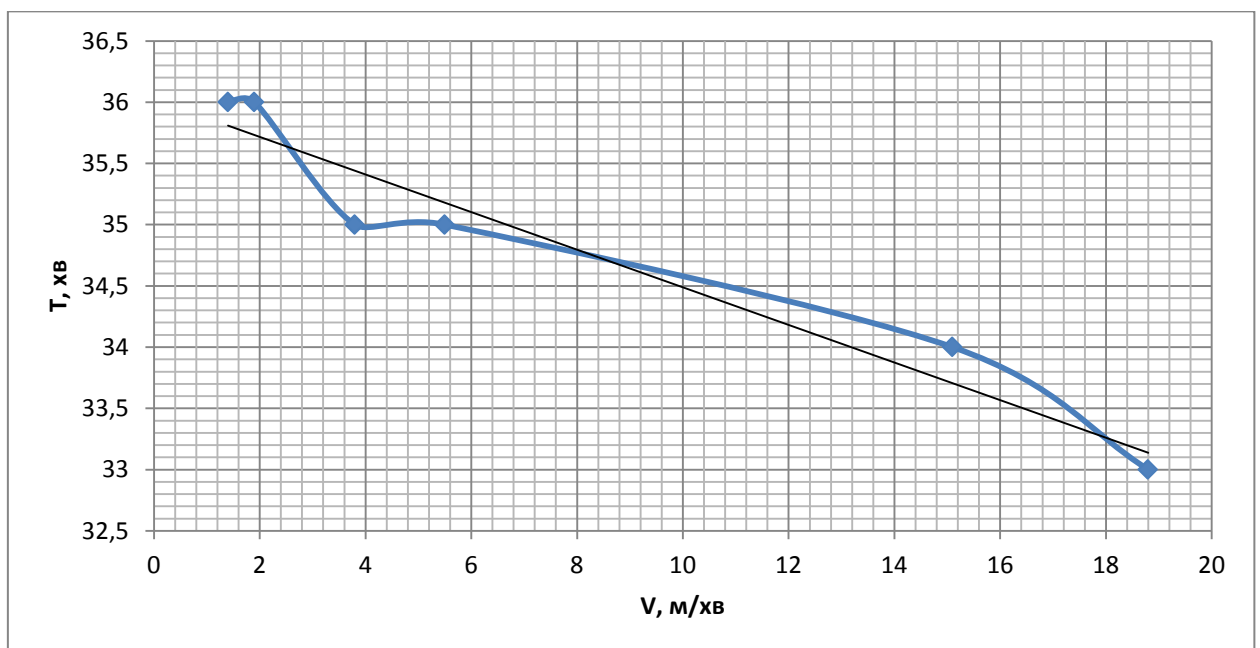


Рисунок 18 – Графік залежності стійкості свердла ф5 від швидкості різання

Абсолютна висота по осі абсцис $M_v = 35.8 - 33.2 = 2.6$

Абсолютна висота по осі ординат $M_T = 18.8 - 1.5 = 17.3$

Кут між отриманою прямою та віссю ординат складає $\arctg(2.6/17.3) = 8.55^\circ$.

Таким чином для свердла ф6 показник z буде дорівнювати:

$$z = \tg(8.55^\circ) = 0.15$$

Коефіцієнт пропорційності для свердла ф6 знаходимо за формулою:

$$C = \sum_{i=1}^n (T_i * V_i^z) / n$$

$$C = (36*1.4^{0.15} + 36*1.9^{0.15} + 35*3.8^{0.15} + 35*5.5^{0.15} + 34*15.1^{0.15} + 33*18.8^{0.15}) / 6 = 44.63$$

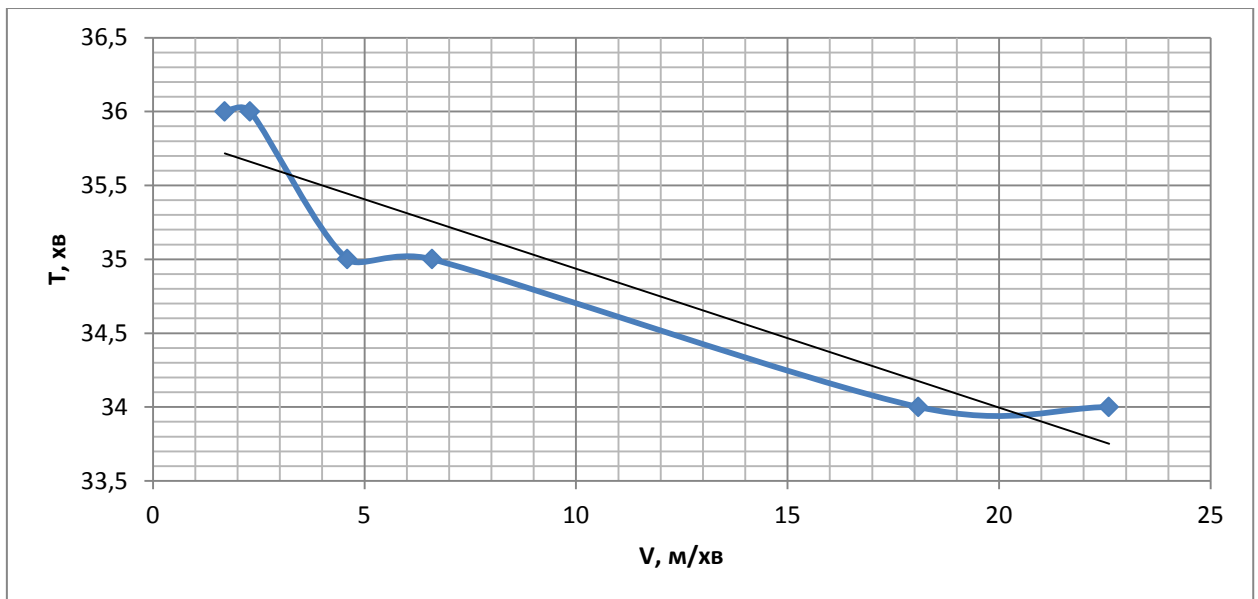


Рисунок 19 – Графік залежності стійкості свердла ф6 від швидкості різання

Абсолютна висота по осі абсцис $M_v = 35.7 - 33.75 = 1.95$

Абсолютна висота по осі ординат $M_T = 22.5 - 1.5 = 21$

Кут між отриманою прямою та віссю ординат складає $\arctg(1.95/21) = 5.3^\circ$.

Таким чином для свердла ф6 показник z буде дорівнювати:

$$z = \tg(5.3^\circ) = 0.093$$

Знаходимо коефіцієнт пропорційності для свердла ф6:

$$C = (36*1.7^{0.093} + 36*2.3^{0.093} + 35*4.6^{0.093} + 35*6.6^{0.093} + 34*18.1^{0.093} + 34*22.6^{0.093})/6 = 41.45$$

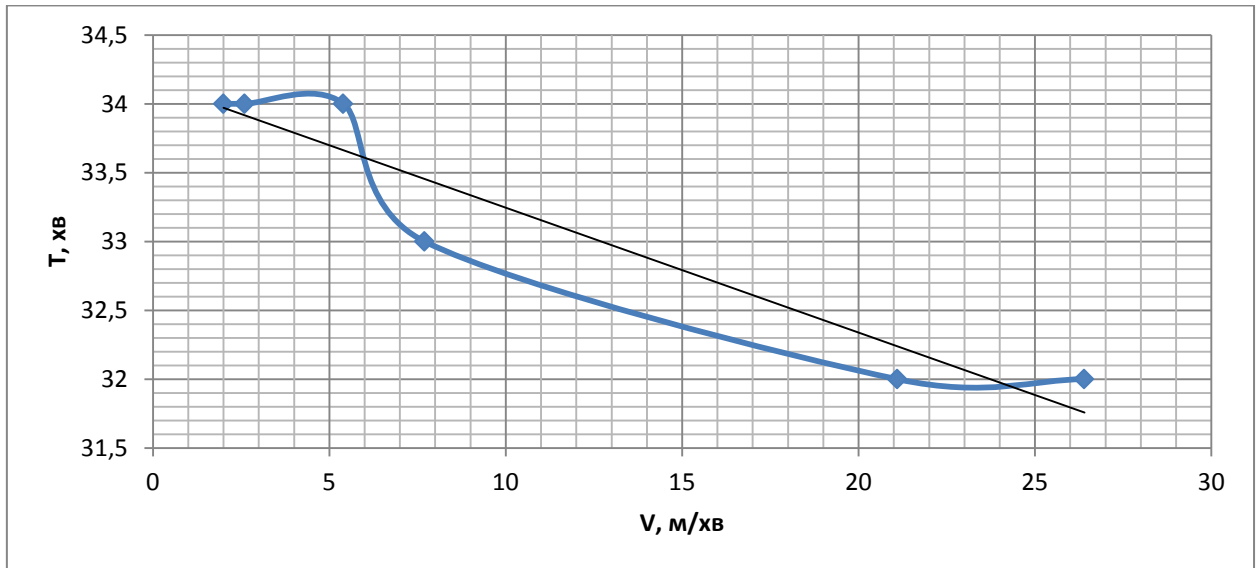


Рисунок 20 – Графік залежності стійкості свердла ф7 від швидкості різання

Абсолютна висота по осі абсцис $M_v = 34 - 31.75 = 2.25$

Абсолютна висота по осі ординат $M_T = 25.5 - 2 = 23.5$

Кут між отриманою прямою та віссю ординат складає $\arctg(2.25/23.5) = 5.47^\circ$.

Таким чином для свердла ф7 показник z буде дорівнювати:

$$z = \tg(5.47^\circ) = 0.096$$

Знаходимо коефіцієнт пропорційності для свердла ф7:

$$C = (34*1.7^{0.096} + 34*2.3^{0.096} + 34*4.6^{0.096} + 33*6.6^{0.096} + 32*18.1^{0.096} + 32*22.6^{0.096})/6 = 40.07$$

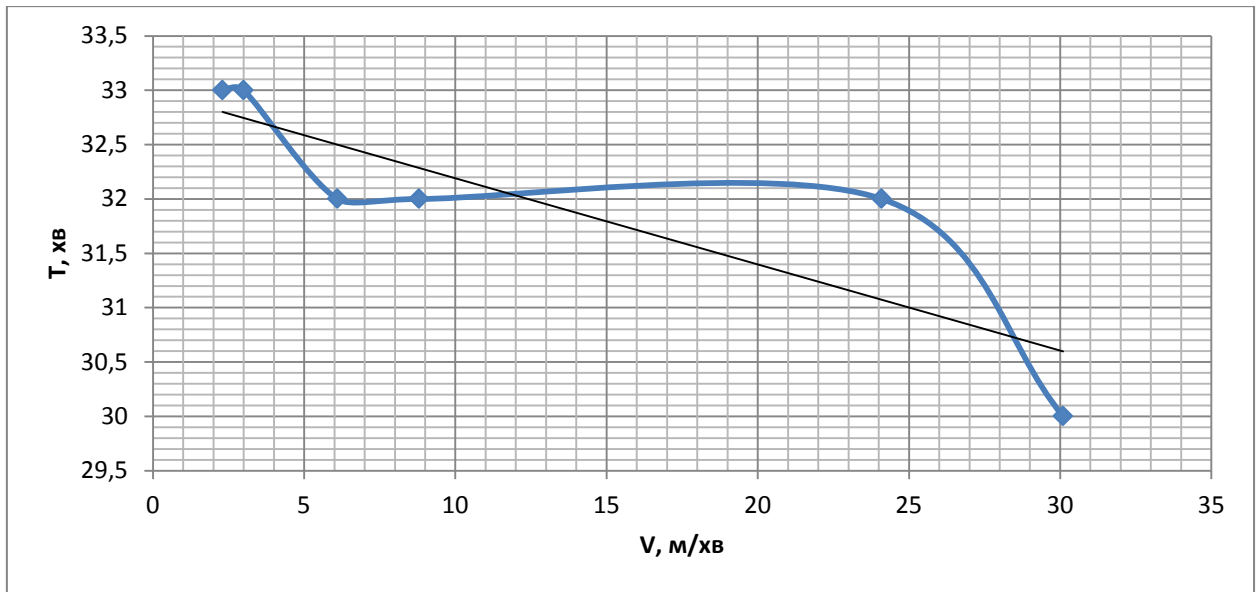


Рисунок 21 – Графік залежності стійкості свердла ф8 від швидкості різання

Абсолютна висота по осі абсцис $M_v = 32,8 - 30,6 = 2,2$

Абсолютна висота по осі ординат $M_T = 30 - 2,5 = 27,5$

Кут між отриманою прямою та віссю ординат складає $\arctg(2,2/27,5) = 4,5^\circ$.

Таким чином для свердла ф8 показник z буде дорівнювати

$$z = \tg(4,5^\circ) = 0,08$$

Знаходимо коефіцієнт пропорційності для свердла ф8:

$$C = (34 \cdot 1,7^{0,096} + 34 \cdot 2,3^{0,096} + 34 \cdot 4,6^{0,096} + 33 \cdot 6,6^{0,096} + 32 \cdot 18,1^{0,096} + 32 \cdot 22,6^{0,096}) / 6 = 38,66$$

В результаті проведених розрахунків отримані дані для складання математичних моделей залежності стійкості від швидкості різання для свердл, що беруть участь у експерименті.

Таким чином отримуємо наступні залежності стійкості від швидкості різання для заданих умов обробки:

- для свердла ф5

$$T = \frac{44.63}{V^{0.15}};$$

- для свердла ф6

$$T = \frac{41.45}{V^{0.093}};$$

- для свердла ф7

$$T = \frac{40.07}{V^{0.096}};$$

- для свердла ф8

$$T = \frac{38.66}{V^{0.09}};$$

4.3 Рекомендації та практичне застосування результатів дослідження

Щоб не допустити небажаних наслідків у процесі свердління, перед кожним новим циклом свердління необхідно оглядати інструмент на предмет зношеності.

Загалом можна рекомендувати такі ознаки, як можна визначити «на око», що свердло потребує заточування:

- з'явився явно помітний блиск граней заточування – під час заокруглення матеріал блищить, що робить його помітнішим, він відрізняється від інших частин (від хвостовика й основного циліндра) [16];

- виник колір побіглості ріжучого інструменту – такий ефект виходить через сильну зміну температури, аналогічний процес з відтінком металу можна помітити у металевої стружки, яка відходить при різанні;

- нагрівання в процесі роботи – воно відбуватиметься і за найгострішого свердла, але під час експлуатації заступився це буде в кілька разів помітніше;

- збільшення зусиль при свердлінні актуально при свердлінні ручним інструментом (електродрилем), тому що подача здійснюється не механізмом,

а безпосередньо самою людиною, тобто майстер просто буде сильніше тиснути на інструмент;

- поява скрипучого звуку свідчить про те, що необхідно призвести огляд і переточування;
- можна візуально оцінити знос, з використанням спеціальних збільшувальних приладів.

Для досліджуваних свердел під час обробки нержавіючої сталі марки 08X18N10 ГОСТ 5632-72 встановлений розмір критичного зносу по задній поверхні 0,5-0,6 мм. При виявленні такого зносу, щоб уникнути поломки свердла, обробку необхідно припинити, а інструмент відправити на переточування.

Загалом до недоліків спіральних свердел, що знижують їхню стійкість, можна віднести:

- великі позитивні передні кути на периферії;
- несприятлива геометрія поперечної ріжучої кромки;
- відсутність задніх кутів на допоміжних ріжучих крайках, розташованих на стрічках свердла.

Для виправлення цих недоліків спіральних свердел рекомендуються такі заходи.

1. Подвійне заточування (малюнок 22). Застосовують для зменшення інтенсивності зношування куточків на зовнішніх ділянках головних ріжучих крайок. Для цього на куточках свердла заточують фаски довжиною $L = (0,2...0,25)$ мм із подвійними кутами при вершині $2\varphi_0=70^\circ$ и $2\varphi=116...120^\circ$. Таке заточування при свердлінні сталей збільшує стійкість свердел у 2...4 рази завдяки зменшенню товщини стружки, що зрізається, поліпшенню тепловідводу і невеликому зниженню передніх кутів на куточках свердла.

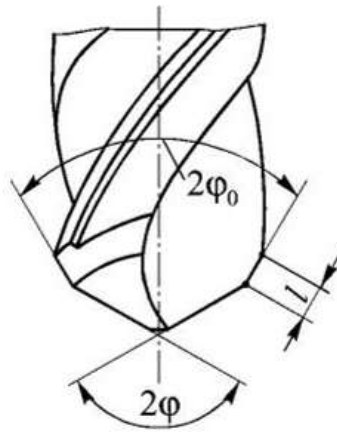


Рисунок 22 – Подвійна заточка спірального свердла

2. Підточування перемички. Застосовують для зниження осьової сили P_o і підвищення подачі. Найбільш часто вживані способи підточування свердел показані на рисунку 23. Наприклад, на обох напівкромках шляхом вибірки металу з передніх поверхонь і залишення перемички завдовжки l_n створюють нульові передні кути замість негативних кутів (рисунок 23, а) або зменшують довжину перемички до величини $l'_n = 1,5 \dots 3$ мм (рисунок 23, б).

Останній спосіб завдяки скороченню довжини перемички і поліпшенню умов відведення стружки дає змогу знизити осьову силу.

Підточування поперечної ріжучої кромки не зменшує жорсткість свердла, але знижує осьову силу і сприяє підвищенню стійкості свердла в 1,5... 1,7 раз.

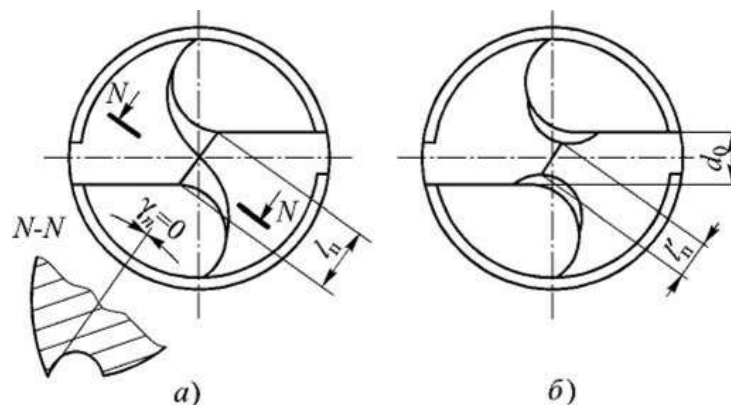


Рисунок 23 – Подточка поперечної режущей кромки спірального свердла с целью:

а – создания нулевых передних углов;

б – укорочения поперечной режущей кромки

3. Створення задніх кутів на стрічках свердла ($\alpha' = 6...8^\circ$) (рисунок 24) забезпечує зниження сил тертя між свердлом і стінками обробленого отвору.

Це досягається завдяки підточуванню стрічки на невеликій ділянці завдовжки $l_\phi = 1,5...3$ мм із залишенням ділянки стрічки завширшки $f_0 = 0,2...0,4$ мм, щоб уникнути погіршення умов центрування та направлення свердла в отворі [14]. Під час свердління сталей таке підточування забезпечує підвищення стійкості свердел у 1,5 раза завдяки зниженню тертя і запобіганню налипанню дрібної стружки, що збільшує інтенсивність зносу свердел. Підточування стрічок не рекомендується під час свердління заготовок з ливарною або штампувальною кірками, а також під час свердління матеріалів підвищеної твердості через швидке зношування калібрувальних стрічок свердел.

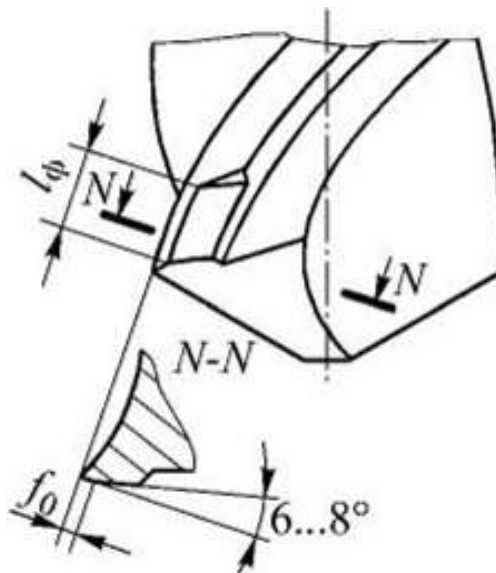


Рисунок 24 – Підточування калібрувальної стрічки спірального свердла

Зазвичай операція свердління на вертикально-свердлильних верстатах отворів глибиною до 3d виконується з подачею МОР у вигляді водної емульсії поливом зверху.

Великим недоліком цього способу охолодження є утруднені умови потрапляння МОР у зону різання, викликані стружкою, що сходить, і формою робочої частини свердла, що діє як гвинтовий насос, який відкачує МОР з отвору. Крім того, при зіткненні МОР з нагрітими ділянками свердла під час випаровування утворюється парова «сорочка», що погіршує тепловідведення [29].

Тому кращі результати дає внутрішнє підведення МОР під тиском через отвори в свердлі, що поліпшує до того ж відведення стружки з отвору (рисунок 25).



Рисунок 25 – Свердло з внутрішнім підводом МОР

При цьому незалежно від розташування осі свердла (вертикальне, горизонтальне) і глибини свердління забезпечується висока охолоджувальна і змащувальна дії МОР. Стійкість свердел стає тим більшою, чим нижча теплопровідність оброблюваного матеріалу. Так, наприклад, під час свердління високолегованих сталей (1Х18Н9Т, 45Г17ЮЗ та ін.), які мають у 4 рази меншу теплопровідність, ніж сталь 40, досягнуто підвищення стійкості свердел у 40 разів порівняно з подачею МОР поливом, у той час як під час свердління сталі 40 – тільки в 4 рази.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап-проект буде розроблятися з метою створення та розвитку нового бізнесу що пропонує інноваційне рішення по виконанню ремонтних робіт на ринку.

5.1 Опис ідеї стартап-проекту

При використанні різального інструменту виникає проблема його зношування, що може призвести до зменшення якості оброблюваних виробів та збільшення витрат на заміну інструменту.

Ефективне використання різального інструменту передбачає розуміння процесів зношування та розробку стратегій підвищення тривалості його служби.

Головною ідеєю стартап-проекту виступає дослід зношення свердл та розроблення математичної моделі для наданих умов технологічної операції .

Отримання математичної моделі визначення оптимальних режимів для оптимальної стійкості інструменту в наданих умовах дозволить покращити економічні показники деяких частин виробництва.

Можливі напрямки використання, зміст ідеї та вигоди для користувача наведені в таблиці 9.

Таблиця 9

Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги для користувача
Надання послуги по розробці математичної моделі стійкості різального інструменту в залежності від наданих умов обробки з ціллю отримання оптимальних режимів обробки	Зниження собівартості обробки	Можливість зменшити вартість робіт
	Підвищення стабільності якості	Стабільність отримання якісних виробів

Інформаційна карта стартап-проекту наведена в таблиці 10, вона включає в себе назву та авторів проекту, термін реалізації, необхідні ресурси, описує проблематику та основні цілі.

Таблиця 10

Інформаційна картка стартап-проекту

Назва проекту	Оптимізація стійкості інструменту від наданих умов роботи
Автори	
Анотація	Перед початком виробництва проведемо експериментальні роботи з ціллю отриманню значення коефіцієнтів для розрахунку стійкості. Це дає змогу винаходити оптимальні режими у розрізі максимізації ресурсу служби інструменту.
Термін реалізації	1 місяць
Необхідні ресурси	Людські, фінансові.
Опис проблеми, яку вирішує стартап - проект	Зниження якості обробки під час неконтрольованого періоду зносу інструменту, та можливий брак під час критичного зносу та поломки інструменту
Ціль проекту	Отримання значення гарантованого періоду стійкості в залежності від наданих умов технологічної операції.
Очікуваний результат	Зниження собівартості обробки за рахунок збільшення ресурсу ріжучого інструменту, підвищення стабільності якості

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї приведений в таблиці 11, де визначається перелік слабких (W), сильних (S) та нейтральних

(N) характеристик та властивостей ідеї проекту для формування його конкурентоспроможності.

Таблиця 11

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї проекту	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W(слабка сторона)	N(нейтральна сторона)	S(сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент №1	Конкурент №2			
1	Стабільність якості	висока	середня	середня			+
2	Зниження собівартості обробки	висока	середня	низька			+

Отже бачимо, що перевагами серед конкурентів будуть стабільна якість виконаних робіт, та зниження собівартості обробки за рахунок оптимізації зносу інструменту.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічний аудит проекту - це процес оцінки та аналізу технічних аспектів та рішень, що використовуються у проекті або запропонованих для його виконання. Метою технологічного аудиту є виявлення сильних та слабких сторін технічної складової проекту, а також надання рекомендацій щодо оптимізації технічних рішень, покращення ефективності та зниження ризиків.

Таблиця 12

Технологічний аудит проекту

№	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Надання послуг по розробці математичної моделі	Проведення ряду експериментальних обробок	+	+
2	стійкості різального інструменту в залежності від наданих умов обробки з ціллю отримання оптимальних режимів обробки	Розробка математичної моделі залежності стійкості від режимів для заданих умов обробки	+	+

Отже ідея стартап-проекту можлива для створення. Всі необхідні технології наявні та доступні.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринкових можливостей стартап-проекту - це процес вивчення та оцінки ринку, на якому планується пропонувати продукт чи послугу, з метою визначення потенціалу та життєздатності даного проекту на ринку. Цей аналіз дозволяє підприємцям та інвесторам краще зрозуміти, чи є попит на запропоноване рішення, хто є цільовою аудиторією, і які будуть умови конкуренції.

Таблиця 13

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців	10000+
2	Загальний обсяг продаж на рік, грн/ум.од	-

Продовження таблиці 13

3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Специфічні вимоги не пред'являються
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	-

Отже можна зробити висновок що ринок України для цього стартапу дуже привабливий адже існує більше 10000 виробничих підприємств де може бути запроваджений даний стартап-проект.

Визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Дані зведемо до таблиці 14.

Таблиця 14

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Підвищення стабільності отримання якості	Металообробні виробництва	Підвищення якості при зниженні собівартості	Зменшення ціни, підвищення якості виробу
2	Зниження собівартості обробки	Металообробні виробництва	Підвищення якості при зниженні собівартості	Зменшення ціни, підвищення якості виробу

Розглянемо фактори які сприяють впровадженню проекту, та які перешкоджають (таблиця 15-16).

Таблиця 15

Фактори загроз проекту

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зріст конкуренції	Поява конкурентів	Оптимізація ціноутворення, активна маркетингова діяльність
2	Зростання інфляції	Зростання цін, падіння попиту на послугу	Гнучка політика ціноутворення
3	Наявність обов'язкових експериментальних робіт	Необхідність виконання дослідницько-експериментальних робіт	Використовування вже сформованих готових рішень з клієнтської бази

Таблиця 16

Фактори можливостей проекту

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Збільшення попиту	Необхідність наростити кількість спеціалістів	Розширення штату фахівців
2	Розвиток інших напрямків	Впровадження математичного моделювання стійкості на інші види виробництва	Розширення штату фахівців
3	Інвестиції	Залучення інвестицій	Збільшення витрат на додаткові дослідження та маркетинг

Фактор збільшення попиту має велику ймовірність тому що пропонуєма цим стартап-проектом послуга надає відчутні переваги

Визначимо загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 17).

Таблиця 17

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції - монополістична	На ринку існують багато виробників або постачальників, які продають схожі, але не ідентичні товари чи послуги. Кожен виробник може трошки впливати на ціни та умови ринку.	Конкуренція примушує підприємство звертати увагу на якість та унікальність своєї послуги, щоб залучити та утримати клієнтів.
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний	Змагання між підприємствами, обмеженими територією конкретного місцевого ринку	Локальний ринок може визначати специфічні вимоги та переваги споживачів. Підприємство повинно адаптуватися до місцевих уподобань та потреб
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Підприємства змагаються між собою через ціни на свої товари чи послуги, намагаючись привабити споживачів.	Підприємство може бути змушене постійно переглядати ціни на свої товари чи послуги для конкуренції з іншими учасниками галузі
4. Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Підприємства конкурують між собою за продаж товарів чи послуг	Підприємство, повинно надавати унікальні, ефективні та високотехнологічні послуги, що привертає клієнтів та сприяє їхній лояльності.
5. За характером конкурентних переваг - цінова, нецінова	Підвищення якості послуги, зменшення собівартості	Оптимізація виробничих процесів та зменшення витрат.
6. За інтенсивністю - немарочна	Немає виражених брендів	Підкреслення конкретних переваг товару або послуги

Проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера (таблиця 18).

Таблиця 18

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	-	Інструментальні підприємства постачаючи разом з інструментом технологію	-	Вузькогалузеві	Інструмент що постачається з готовим рішенням щодо оптимальних умов роботи
Висновки	-	Необхідно підбирати клієнтів які купують ріжучий інструмент без професійних консультацій	Постачальники не диктують умови на ринку	Клієнт робить вибір по співвідношенню вартість-якість	Необхідно підбирати клієнтів які купують ріжучий інструмент без професійних консультацій

За даними таблиці 18 можна зробити висновок що послуга надання математичної моделі оптимізації стійкості. є конкурентоспроможною, та має такі сильні сторони як більша гнучкість під мінливі умови виробництва.

Визначимо та обґрунтуємо фактори конкурентоспроможності (таблиця 19).

Таблиця 19

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Підвищення стабільності якості	Завдяки більш точному визначенню періоду стійкості ріжучого інструменту своєчасна переточка або заміна, що призводить до стабілізації якості
2	Зменшення собівартості	Оптимальне визначення періоду стійкості дозволяє більш економно використовувати ріжучий інструмент, що в цілому веде до зменшення собівартості виробів

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 19) проводимо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту по наданням послуг з математичного моделювання залежності стійкості від наданих умов обробки.

Таблиця 20

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг послуги у порівнянні з конкурентами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Підвищення стабільності якості	15						+	
2	Зменшення собівартості	10					+		
3	Наявність експериментальних робіт	0			+				

На основі порівняльного аналізу можна відмітити, що до сильних сторін стартап-проекту відноситься підвищення стабільності якості. Слабкою стороною є необхідність проведення попередніх експериментальних робіт.

Проведемо аналіз ринкових можливостей стартап-проекту за допомогою SWOT-аналізу у (матриця Strength-Weak-Troubles-Opportunities (Сильних-Слабких-Загроз-Можливостей) на основі визначених загроз та можливостей ринку, його негативних і позитивних сторін (таблиця 21).

Таблиця 21

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Підвищення стабільності якості Зменшення собівартості	Слабкі сторони: Наявність експериментальних робіт
Можливості: Збільшення попиту Розвиток інших напрямків Інвестиції	Загрози: Зріст конкуренції Зростання інфляції Наявність обов'язкових експериментальних робіт

Провівши SWOT-аналіз визначенні можливості, загрози які передбачаються сильними та слабкими сторонами. Слабкими сторонами проекту визначена наявність експериментальних робіт. Значними перевагами є підвищення стабільності якості та зменшення собівартості.

На основі SWOT-аналізу розробляються стратегічні рекомендації та плани дій для підприємства, організації або проекту. SWOT-аналіз допомагає зрозуміти внутрішні та зовнішні фактори, які впливають на стан і можливості суб'єкта і визначають оптимальні шляхи розвитку.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії є ключовим етапом в життєвому циклі будь-якого проекту чи підприємства.

Визначення та розуміння наших цільових груп є критично важливим етапом у розробці нашої ринкової стратегії. Зробимо опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 22).

Таблиця 22

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Машинобудівні заводи	Висока	Високий	Середня	Середня
2	Металообробні майстерні	Середня	Середній	Середня	Середня

На основі аналізу цільових груп обираємо як найбільш перспективну для розвитку 1 групу – машинобудівні заводи. Відповідно до обраної групи визначаємо стратегію розвитку.

Таблиця 23

Визначення базової стратегії розвитку

№	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Концентрований маркетинг	Сконцентрованість на вдосконаленні якості послуги для обраної групи	Стратегія спеціалізації

Концентрований маркетинг дозволяє стати експертом в обраній ніші, що може привести до збільшення впізнаваності та довіри споживачів. Компанія зможе ефективно використовувати свої ресурси, оскільки їй не потрібно буде витратити їх на широкий ринок. Це може дозволити економити кошти та фокусувати увагу на найважливіших аспектах бізнесу.

Обираємо стратегію конкурентної поведінки (таблиця 24).

Таблиця 24

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Можливо в рамках чистої конкуренції	Ні	Розширення первинного попиту

Обрана стратегія конкурентної поведінки обумовлена введенням на ринок послуги, що дозволяє підвищити економічні показники підприємства. Необхідно буде зосередитись на створенні іміджу надаваної послуги, який призведе до збільшення попиту з боку споживачів

Розробляємо стратегію позиціонування (таблиця 25), що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 25

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію
1	Стабільна якість	Стратегія розширення ринку	Отримання прогнозованої стійкості інструменту і відповідно більшої стабільності якості виготовляємих виробів	Стабілізація якості обробки
2	Конкурентна ціна		Економія витрати різального інструменту	Приваблива ціна

Отже бачимо, що головними вимогами до пропонованої послуги є отримання більш стабільних показників якості та отримання привабливого рівня ціни виробів.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Маркетингова програма є стратегічним інструментом для досягнення бізнес-цілей та забезпечення вдачі входження на ринок. Вона визначає підхід до позиціонування, залучення та утримання клієнтів, а також просування удосконаленої технології ремонту отворів під свічки запалення.

Підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 26

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує послуга	Ключові переваги перед конкурентами
1	Покращення стабільності якості	Виключення впливу критичного зносу на якість	Гнучкість послуги з можливістю адаптації під будь-які умови обробки
2	Зменшення прямих витрат на ріжучий інструмент	Економічне використання ріжучого інструменту	Зменшення рівня браку, та собівартості виробів

Розробляємо тривірнівну маркетингову модель товару (таблиця 27)

Таблиця 27

Маркетингова модель товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Оптимізація стійкості інструменту від наданих умов роботи
2. Товар у реальному виконанні	Покращення стабільності якості Економічне використання ріжучого інструменту
3. Товар із підкріпленням	Тестове виконання, гарантія

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз на ціни товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (таблиця 28).

Таблиця 28

Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на	Рівень цін на	Рівень доходів	Верхня та нижня
---	---------------	---------------	----------------	-----------------

	товари- замітники	товари- аналоги	цільової групи споживачів	межі встановлення ціни на товар/послугу
1	-	Ціна послуги закладається в вартість інструменту	300 - 20000 тыс. грн	3000 - 5000 грн

Встановлена ціна послуги яка забезпечує оптимізацію стійкості інструменту від наданих умов роботи з урахуванням до рівня доходів потенційних споживачів є досить доступною.

Визначаємо оптимальну систему збуту, за якою приймаються подальші кроки (таблиця 29).

Таблиця 29

Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник послуги	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Цільові клієнти замовляють послугу звернувшись до постачальника	Оповіщення клієнтів, виконання гарантій	Без посередників	Прямий продаж, онлайн-продажі

Розробляємо концепцію маркетингових комунікацій (таблиця 30).

Таблиця 30

Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти дізнаються про послугу з реклами, сайтів послуг, по рекомендаціям	Інтернет, реклама, виставки	Якість, швидкість, прогнозований результат	Довести до покупця якісні переваги послуги	Привернення уваги клієнтів до основних переваг з фактичними свідоцтвами, а також відгуками клієнтів

5.6 Висновок до 5 розділу

Сучасний світ бізнесу став вимогливим середовищем, де підприємцям необхідно не тільки проявляти креативність та інноваційність, але і вдосконалювати систематичний підхід до розвитку та введення свого продукту на ринок. Розробка стартапу — це складний і цікавий процес, який вимагає докладного стратегічного планування, ретельного аналізу ринку і ефективного управління ризиками.

У сучасному бізнес-середовищі успіх стартапу визначається не лише ідеєю, але й можливістю адаптуватися до змін, швидким реагуванням на виклики ринку та конкуренції. Підприємці повинні бути готові до непередбачуваних обставин і завжди готуватися до змін в своєму стратегічному плані.

Під час розробки даного стартап-проекту було визначено попит на послугу по оптимізації стійкості інструменту від наданих умов роботи. Основними споживачами цієї послуги є машинобудівні підприємства та різноманітні металообробні майстерні.

Аналіз можливостей запуску проекту довів, що ринок привабливий для даної послуги, оскільки вона надає незаперечні переваги, такі як покращення стабільності якості та зменшення прямих витрат на ріжучий інструмент.

Основною можливістю проекту обрана збільшення попиту та розвитку інших напрямків застосування що може призвести до подальшого збільшення клієнтів.

Провівши аналіз конкуренції на ринку можна відзначити, що наданням подібних послуг у цьому напрямку займаються лише обмежена кількість організацій які надають її разом зі своїм інструментом, а потенційними клієнтами являється велика кількість метало оброблювальних підприємств.

Ринковою стратегією обрана стратегія розширення попиту, цільовою групою обрані машинобудівні заводи.

Встановлена ціна послуги яка забезпечує оптимізацію стійкості ріжучого інструменту, та з урахуванням до рівня доходів є досить доступною.

В цілому можна зробити висновок що послуга з оптимізація стійкості інструменту від наданих умов роботи цілком доцільна для використання в якості предмета стартап-проекта.

ВИСНОВКИ

У процесі вивчення теоретичних основ зносу ріжучих інструментів стало зрозумілим, що ця галузь являє собою складну систему взаємодії різних чинників. Види і механізми зносу, вплив операційних параметрів, вибір матеріалів – усі ці аспекти тісно пов'язані і потребують глибокого розуміння для оптимізації процесів різання.

Важливим висновком є необхідність системного підходу до проблеми зносу. Необхідно враховувати кожен елемент – від вибору матеріалу інструменту до контролю операційних параметрів. Розроблення нових методів прогнозування та контролю за зносом являє собою перспективний напрямок для підвищення ефективності виробництва.

У процесі дослідження технологічних процесів свердління було виявлено ключові фактори, що впливають на ефективність і точність цього виду обробки матеріалів. Етапи свердління, починаючи від вибору режимів різання до застосування сучасних матеріалів і автоматизації процесів, являють собою злагоджену систему, що потребує уважного підходу та оптимізації. Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити такі висновки.

Ефективність свердління безпосередньо залежить від правильного вибору параметрів різання, подачі та швидкості обертання. Оптимізація цих параметрів дає змогу поліпшити продуктивність і точність операцій свердління.

Застосування нових матеріалів для виготовлення ріжучих інструментів, таких як тверді сплави і металокераміка, а також використання покриттів сприяє збільшенню стійкості інструменту і зниженню зносу.

Дослідження та інновації: Постійні дослідження в галузі свердління і впровадження інновацій у технологічні процеси необхідні для поліпшення якості та ефективності цього виду обробки матеріалів.

Дослідження зношування різального інструменту при свердлінні виявило ряд ключових аспектів, які можуть бути використані для оптимізації процесів металообробки. Нижче подано основні висновки:

Визначальні фактори зношування: Швидкість різання, подача та матеріал мають величезний вплив на зношування різального інструменту. Дослідження відзначило важливість урахування цих факторів при визначенні оптимальних режимів свердління.

Оптимізація режимів свердління: Для підвищення тривалості служби різального інструменту рекомендується оптимізувати параметри свердління, такі як швидкість різання та подача. Це сприятиме ефективнішому використанню інструменту та зменшенню зношування.

Використання нових матеріалів: Впровадження нових матеріалів для виготовлення різального інструменту, які мають підвищену стійкість до зношування, може покращити його тривалість служби та ефективність роботи.

Моніторинг і діагностика: Розробка систем моніторингу, які використовують дані досліджень, дозволить вчасно виявляти зношеність інструменту, забезпечуючи можливість своєчасного обслуговування та підтримки в оптимальному стані.

Досягнення вирішення проблем: Дослідження надає практичні рекомендації для оптимізації процесів свердління та зменшення зношування різального інструменту, що може призвести до поліпшення якості та продуктивності виробничих процесів.

Висновки дослідження можуть бути використані для розробки ефективних стратегій управління різальним інструментом у виробничих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верещагин, В.Ю. Технологии диагностики состояния режущего инструмента на верстатах с числовым программным управлением [Текст] / В.Ю. Верещагин, А.С. Верещагина, Е.Г. Кравченко // Ученые записки КНАГТУ. – № 2 (26). – 2016. – С. 42 – 46.
2. Виды износа режущих инструментов по металлу [Электронный ресурс] :электрон. Статья. 12.01.2020. URL: <https://www.rinscom.com/articles/iznos-rezhushchikhinstrumentov/#anchor2> (дата обращения: 07.04.2020).
3. Виноградов, А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами / А.А. Виноградов – Киев: Наукова думка , 1985. – 264 с.
4. Древаль А.Е., Ткаченко И.В., Рагрин Н.А. Модели отказов спиральных сверл // Проблемы эксплуатации инструмента в металлообрабатывающей промышленности. М.: ЦРДЗ,1992.- С. 55-62.
5. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.
6. Залога В.О. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: навчальний посібник/ Ю.М. Внуков, В.О. Залога. – Суми: Сумський державний університет, 2010. – 243с.
7. Подураев, В.Н. Обработка резанием жаропрочных и нержавеющей материалов. / В.Н. Подураев – М.: Высш. шк., 1965. – 518 с.
8. Рагрин Н.А. Критерий оптимального износа быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 21/2010. – С.43-45.
9. Резание металлов / Г. И. Грановский [и др.]. – М.: Машгиз, 1953. – 364 с.

10. Справочник технолога машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.

11. Справочник технолога машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

12. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / За ред. А.С. Опальчука. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф» , 2011. – 792 с

13. Трухин В.В. Исследование износа режущего инструмента. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007;2:103-105.

14. Филоненко С.Н. Резание металлов / С.Н. Филоненко. – Киев : Техника, 1975. – 230с

15. Lazar M. Experimental analysis of drilling fibrereinforced composites / M. Lazar, P. Xirouchakis // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2011. – Vol. 51. – P. 937-946.

16. E. Kilickap, M. Huseyinoglu and A. Yardimeden, “Optimization of drilling parameters on surface roughness in drilling of AISI1045 using response surface methodology and genetic algorithm”, Int. J. Adv. Manuf. Tech., vol. 52, pp. 79–88, 2011