

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення ефективності процесу гідроабразивного різання за
рахунок оптимізації режимів обробки»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1
Бездольний Артем Миколайович
Керівник: Власовець В. М.
Рецензент: Ветохін В. І.

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Дана робота на тему «Підвищення ефективності процесу гідроабразивного різання за рахунок оптимізації режимів обробки» містить чотири розділи. Загальний обсяг становить: 57 сторінок пояснювальної записки, з використанням табличного, схематичного та графічного матеріалу.

Об'єктом досліджень є технологічні процеси гідроабразивного різання полімеркомпозитних матеріалів.

Предметом дослідження є процес формування необхідної якості шорсткості поверхні різку при гідроабразивному різанні полімеркомпозитних матеріалів.

У теоретичних дослідженнях використовувалися базові методи теоретичної механіки, основи математичного аналізу, аналітичної геометрії і теоретичної механіки. Експериментальні дослідження виконані на основі планування багатофакторного експерименту і регресійного аналізу дослідних даних з використанням комп'ютерних програм Statistica і Matlab.

Отримані результати експериментальних досліджень можна використовувати для визначення оптимальних режимів різання, складання рекомендацій для інженерів технологів та наладчиків машинобудівних заводів.

Ключові слова: ГІДРОАБРАЗИВНЕ РІЗАННЯ, ШОРСТКІСТЬ, АБРАЗИВ, ВПЛИВ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ПРОЦЕС, ДОСЛІДЖЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Переваги виготовлення деталей з полімеркомпозитних матеріалів	9
1.2. Аналіз методів різання заготовок.....	11
1.3. Аналіз технологічного процесу гідроабразивної обробки	19
Висновки і завдання досліджень	25
Розділ 2. МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1. Технологічне обладнання гідроабразивного різання.....	26
2.2. Прилади й пристосування для проведення експериментальних досліджень	29
2.3. Вибір матеріалів для досліджень	31
2.4. Методика проведення досліджень	33
Висновки	34
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1. Теоретичний аналіз технологічного процесу різання полімеркомпозитних матеріалів.....	35
3.2. Результати досліджень гідроабразивного різання полімеркомпозитних матеріалів	39
3.3. Дослідження впливу води на термофізичні властивості композиту при гідроабразивному різанні.....	43
Висновки	44
Розділ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК.....	45
4.1. Екологічна експертиза розробок	45
4.2. Охорона праці.....	49

	6
4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробок	52
Висновки	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТКИ	60

ВСТУП

Актуальність теми. З метою зменшення виробничих витрат, а також розширення виробничих можливостей в сільському господарстві відбувається модернізація парку обладнання промислового комплексу, а також впровадження прогресивних технологій виробництва деталей. Тому все частіше використовують заготовки у вигляді поковок, або шляхом вирізки наближених по контуру деталей з полімеркомпозитних матеріалів.

Одним з найбільш сучасних і перспективним методом розкрою і отримання готових деталей є метод гідроабразивної обробки (різання). Широкі діапазони оброблюваної товщини матеріалів, можливість різання практично будь-яких матеріалів, висока продуктивність, отримання високої якості поверхні різку, можливість обробки складної геометрії робить цей метод обробки найбільш затребуваним в умовах сучасного виробництва важкого обладнання, суднобудування. Відсутність термічної дії на матеріал, низька сила різання, ерозійний характер руйнування не спричиняє розвитку внутрішніх напружень в зоні різання.

Процес гідроабразивного різання складний, маловивчений, на результат якого впливає безліч технологічних параметрів, таких як тиск різального струменя, подача сопла, зернистість, твердість, витрата абразиву, відстань від сопла до оброблюваної поверхні, фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу. Складність проектування технологічного процесу різання полягає у виборі оптимальних режимів різання, при якому забезпечуватиметься задана якість поверхневого шару деталі при найменших витратах.

Окрім переваг, є і недоліки у цієї технології, одним з яких є нерівномірність розподілу шорсткості поверхні різку по глибині перерізу, а також погіршення якості при збільшенні подачі сопла. Поверхню різку умовно розділяють на зону гладкого і хвилястого різання. Технолог на виробництві стикається з складністю визначення не лише шорсткості поверхні різку, але і

розмірів зони гладкого і хвилястого різку. Відсутність адекватних теоретичних моделей формування профілю шорсткості не дозволяє виконувати оптимізацію процесу різання, з урахуванням вимог заданої шорсткості.

Мета дослідження. Полягає в підвищенні ефективності процесу гідроабразивного різання за рахунок оптимізації режимів обробки.

Об'єкт дослідження. Технологічні процеси гідроабразивного різання полімеркомпозитних матеріалів.

Предмет дослідження. Процес формування необхідної якості шорсткості поверхні різку при гідроабразивному різанні полімеркомпозитних матеріалів.

Методика досліджень. У теоретичних дослідженнях використовувалися базові методи теоретичної механіки, основи математичного аналізу, аналітичної геометрії і теоретичної механіки. Експериментальні дослідження виконані на основі планування багатофакторного експерименту і регресійного аналізу дослідних даних з використанням комп'ютерних програм Statistica і Mathlab.

Теоретична та практична значущість є основи технології машинобудування, теорія обробки деталей вільними абразивами, теорія ймовірності і математичної статистики, теорії тертя і зносу.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Переваги виготовлення деталей з полімеркомпозитних матеріалів

У багатьох сферах і галузях машинобудування застосовуються новітні полімерні композиційні матеріали (ПКМ), такі як скло, вугле-, органопластики. Цінними властивостями склопластиків є мала вага готового виробу, діелектричні й теплоізоляційні властивості, високі механічні властивості, корозійна стійкість і простота виготовлення. Така кількість позитивних властивостей дає право ПКМ називатися перспективними матеріалами. Володіючи високими функціональними можливостями, ПКМ забезпечують зниження маси виробів одночасно з підвищенням надійності. Деталі з них збільшують ресурс роботи виробів і дають можливість експлуатації в екстремальних умовах.

При заміні металевих деталей деталями з ПКМ не вдається повністю реалізувати всі переваги, які дають такі матеріали. Тому ПКМ вимагають багатостороннього вивчення. Наприклад, реалізація ефективного застосування фізико-механічних характеристик ПКМ дає можливість без істотних змін конструкції і технології виготовлення вузлів отримувати оптимальні масові характеристики. Конструкції, в яких застосовуються деталі з ПКМ, досить різноманітні [2].

При заміні традиційних металевих сплавів полімерними композиційними матеріалами відбувається значне зменшення маси виробу на 20-40%, при цьому експлуатаційний ресурс зростає в 1,5-3 рази. Багато виробів з ПКМ вимагають менших трудо- та енерговитрат на їх виготовлення і на підготовку виробництва. Стійкість ПКМ до корозії сприяє виключенню витрат на заміну деталей. У ставленні до деталей з полімерних

композиційних матеріалів можна говорити про їх високих експлуатаційних якостях, які підвищують надійність деталей з ПКМ в 1,5 рази вище, ніж з традиційних матеріалів.

Ефективність композитів, в порівнянні з металом, виявляється в заміні традиційних конструкційних матеріалів, зокрема таких, як листовий прокат алюмінію, сталі, титану.

Склопластики - це ПКМ, що складаються зі скляного наповнювача (скляні волокна, нитки, джгути і тканини) і сполучного. Це матеріал конструктивного призначення, який має високу міцність, низьку щільність і низьку теплопровідність, гарну теплоізоляцію і порівняно низькою вартістю виготовлення. Технологічно з склопластиків можливе виготовлення деталей складної форми, великогабаритні, об'ємні деталі шляхом формування з застосуванням досить простого обладнання [3].

Для отримання максимальної міцності ПКМ деталі виготовляють з орієнтуванням основного волокна (наповнювача). Орієнтування волокна може бути, як односпрямованим (волокна розташовані паралельно), так і мультиаксіальним (волокна розташовуються під певним кутом). Зміна орієнтації волокон дає велику можливість регулювання механічних властивостей таких матеріалів. При цьому міцність конструкції зі склопластику визначається процесом виготовлення (намотування, пресування, прес-форменим методом і т.д). Фізико-механічні властивості компонентів і міцність зв'язку між ними безпосередньо впливають на властивості ПКМ. При суміщенні переваг окремих компонентів готовий продукт має властивості, якими не володіють компоненти, що входять до їх складу.

Матеріали з різко відрізняють характеристиками, доповнюючи один одного, формують композиційний матеріал, в якому проявляються властивості, якими не володіють вхідні компоненти [3]. Склопластики, також, як і сталь, мають низьку теплопровідність, міцністю сталі,

довговічністю, хімічною та біологічною стійкістю. Вони є прекрасними діелектриками.

1.2. Аналіз методів різання заготовок

Сучасне машинобудівне виробництво в умовах ринкової економіки може розвиватися за рахунок підвищення продуктивності праці, застосування нових технологій. Застосування нових конструкційних матеріалів, таких як важкооброблювані жароміцні сплави металів, титанові сплави, композиційні матеріали, вимагає розвитку комплексу механооброблюваного виробництва.

Розвиток парку металорізального устаткування з ЧПК привело до підвищення продуктивності праці, а також дозволило виготовляти деталі складних конфігурацій і підвищеної точності.

У сільськогосподарському машинобудуванні переважає одиничне або дрібносерійне виробництво, де номенклатура комплектуючих деталей виробу може налічувати десятки тисяч деталей, а при цьому річна потреба досягає всього декількох штук в рік. Розробка нових виробів вимагає виготовлення дослідних зразків, прототипів майбутнього виробу, на яких здійснюються і випробування. Для цих цілей недоцільне використання ливарних і штампованих заготівель, оскільки виготовлення ливарного оснащення або штамсів економічно недоцільно для одиничного виробництва, також як і доопрацювання вже існуючого оснащення.

В процесі різання відбувається відділення частини (заготовки) від листового металу, або отримання відразу готової деталі. При цьому різання по видах дії на метал можна підрозділити на наступні групи:

- різання з використанням механічної дії на поверхню;
- різання з використанням висококонцентрованих потоків енергії.

До першої групи відноситься розрізання ножицями, рубка, розпилювання ножівковим полотном, циркуляційне різання, фрезерування.

Для рубки металу застосовуються спеціальні ножі і ножиці. Рубка

металу гільйотиною здійснюється по розмітці або упору. Допускається застосування як поперечної, так і подовжньої рубки. Забезпечується високий рівень точності різу без щербин і зім'яло кромки.

Низька вартість і висока продуктивність є основними перевагами рубки металу гільйотиною. Але обмеження при виготовленні деталей складної конфігурації не дозволяють застосовувати рубку гільйотиною. Крім того, максимальна товщина оброблюваного металу сильно обмежена, не більше 20 мм [4, 5].

Для різання металів циркуляційною пилою застосовують спеціальні диски: з напайками з твердого сплаву. Вони застосовуються для різання кольорових металів і низьколегованих сталей; абразивні армовані круги - для різання твердіших металів і сплавів.

Переваги різання дисковою пилою: висока якість різу; можливість різання під кутом; висока точність обробки.

До недоліків різання відноситься: втрата металу (до 6 мм ширини профілю) за рахунок лінії різу; низька швидкість різання; обмеження величини різу - не більше 100 мм.

Стрічковопильний спосіб різання використовується для високоякісного різання сортового і трубного металопрокату, арматури і сталевих прутків великого діаметру, плоских плит невеликих габаритів. Він є верстатом, де різальним елементом є стрічкова пила, натягнута на шківах. При цьому існують пили, в яких полотно наводиться в рух кривошипом і виконує зворотно-поступальний рух, або полотно може бути замкнуте, утворюючи безперервне кільце [6].

Основні переваги стрічковопильного різання є: добра якість кромки різу; можливість різання під кутом до 60 градусів; дозволяє розрізати практично будь-які метали і сплави; товщина різу до 200 мм

До недоліків стрічковопильного різання відносять: неточний різ при великій товщині; низька швидкість різання.

Загальними недоліками для усіх видів механічного різання є [7, 8]:

- неможливість різку складного профілю;
- обмеження по товщині і габаритам деталей, що розрізають;
- низька продуктивність при різанні важкооброблюваних матеріалів.

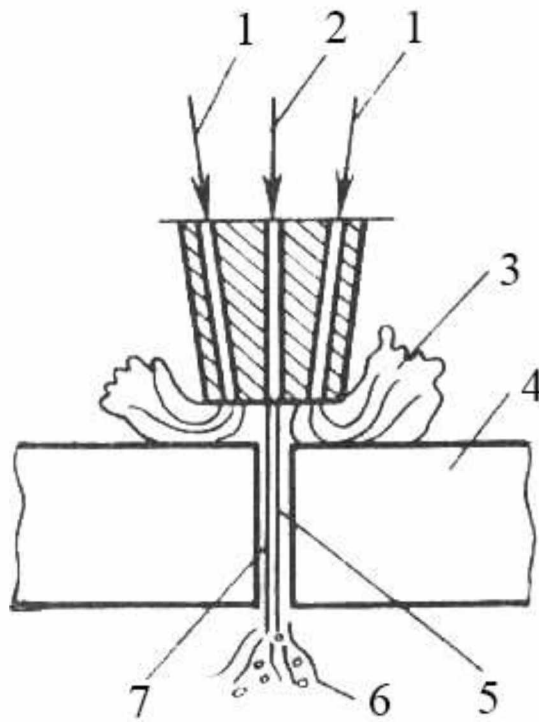
До способів різання висококонцентрованими потоками енергії можна віднести: газове різання, газоелектричне різання, лазерне різання, плазмове різання, електроерозійне різання, гідроабразивна обробка (різання).

Усі ці методи ґрунтовані на підводі в зону різання пучка концентрованої енергії у вигляді тепла або потоку часток. Кожен з цих методів має істотне обмеження за якістю різку, товщині різку, оброблюваності матеріалу, а також продуктивності і собівартості різку.

До основного різновиду газового різання відноситься кисневе різання. Цей метод заснований на згоранні металу в струмені чистого кисню, нагрітому до температури, близької до температури плавлення. Для видалення оксиду заліза із зони різання використовується кінетична енергія струменя кисню.

Процес різання (рис. 1.1) можна розділити на три етапи: підігрівання металу, безпосереднє різання кисневим струменем і видалення шлаку. Процес різання розпочинає з нагріву металу на початку різку до температури займання металу в кисні що підігріває полум'ю різака, яке утворюється в результаті згорання суміші горючого газу з киснем. Потім пускають різальний кисень (відбувається безперервне окислення металу по усій товщині) і переміщують різак уздовж лінії різку. Струмінь різального кисню витісняє в розріз розплавлені оксиди, які у свою чергу, нагрівають наступний шар металу, сприяючи його інтенсивному окисленню.

В результаті при збільшенні товщини металу, що розрізається, значно знижується якість і точність різку.



1 – подача горючої суміші; 2 – струмінь кисню; 3 – полум'я; 4 – деталі; 5 – ріжучий струмінь; 6 – продукти горіння; 7 – розрізана щілина

Рисунок 1.1 – Схема кисневого різання

Недоліки кисневого різання: неможливість різання тонколистових металів; сильна термічна дія на структуру металу і оплавлення кромки різку.

Одним з різновидів газоелектричного різання є кисневодугове різання металів. У нагрітий до плавлення метал подають струмінь технічно-чистого кисню, який інтенсивно окислює метал і видаляє з розрізу оксиди, що утворюються. При згоранні металу в струмені кисню утворюється додаткова теплота, яка прискорює процес різання металів. Цей спосіб різання використовується для розрізання металів товщиною до 120 мм. Перевагою цього способу є можливість різання металів під водою [6, 9].

Лазерне різання являє процес руйнування металу під дією спрямованого монохроматичного когерентного випромінювання (рис. 1.2).

Під дією сфокусованого потоку енергії (10 Вт/см) відбувається плавлення металу. У зоні дії лазерного променя відбувається поглинання і відображення випромінювання, розподіл енергії за рахунок теплопровідності. Розігрітий до температури плавлення метал перетворюється на рідину, при цьому зона плавлення переміщається углиб матеріалу, тоді як метал на верхніх шарах розжарюється до температури кипіння і починає випаровуватися. Тому можливі два варіанти лазерного різання: плавленням і випаром. Другий метод використовується рідше з причини великої енерговитратності. При різанні плавленням застосовують продування зони різання газом(азот, кисень, інертні гази) для кращого видалення продуктів горіння, скорочення енерговитрат і підвищення якості різу [10].

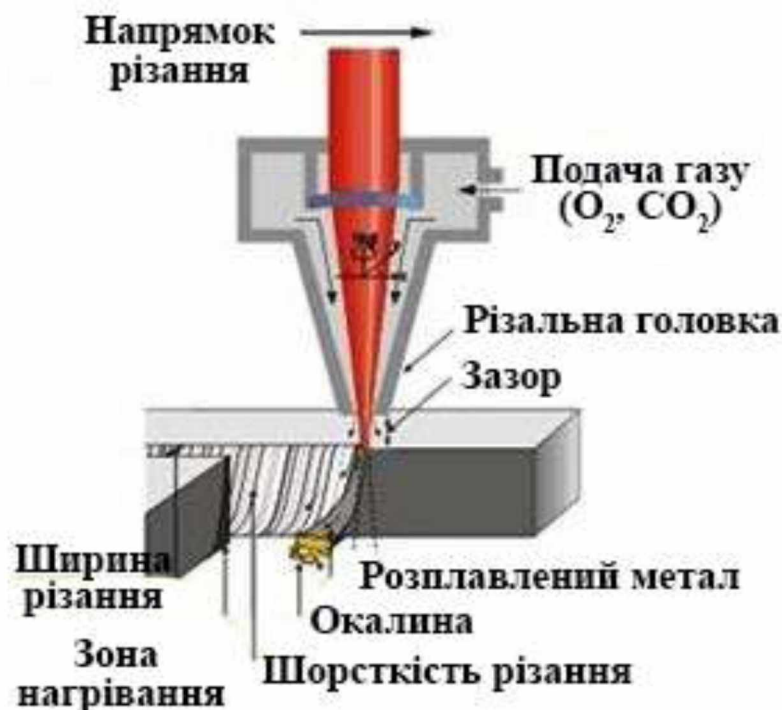


Рисунок 1.2 – Схема лазерного різання

Існують різні конструкції лазерів : газодинамічний лазер, щілинний лазер, лазери з поперечним і подовжнім прокачуванням газу, твердо тілі лазери. Твердотілі лазери не підходять для обробки неметалів через низьку довжину випромінюваних хвиль, але мають переваги в порівнянні з

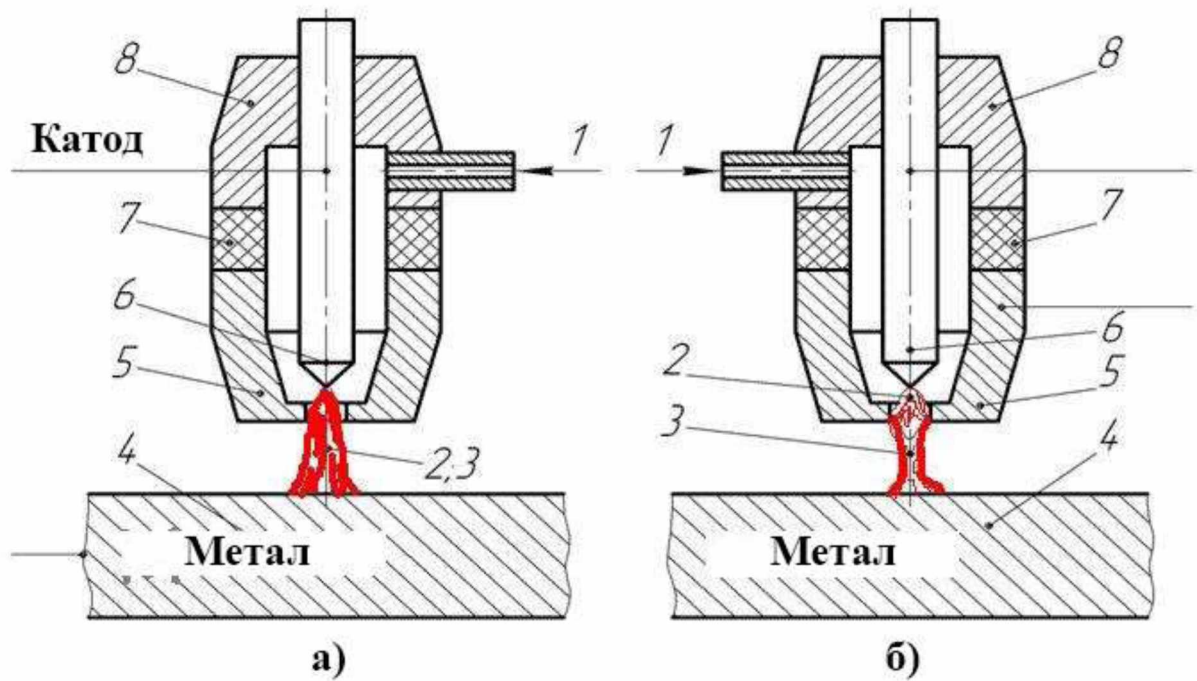
газодинамічними лазерами при обробки алюмінієвих сплавів, міді і латуні у зв'язку з низьким відображенням. Вуглекислотні лазери найбільш універсальні і застосовуються для обробки, як металів, так і неметалів.

Різання вуглецевих сталей роблять в середовищі кисню, при цьому на нижній кромці різку утворюються грат. Виконання різання на малих швидкостях призводить до збільшення ширини різку і погіршення шорсткості поверхні. Лазерне різання нержавіючої сталі, особливо великої товщини, ускладнене процесом шлакування різку із-за присутності в металі легуючих елементів, що впливають на температуру плавлення металу і його оксидів. Так, можливе утворення тугоплавких оксидів, що перешкоджають підведенню лазерного випромінювання до оброблюваного матеріалу. Ускладнює процес різання і низька рідкотекучість розплавлених оксидів, наприклад, властива для нержавіючих хромонікелевих і високо хромистих сталей.

Лазерне різання ефективне для товщини металів до 20 мм, далі різання стає складним і економічно не вигідним [11].

Переваги лазерного різання: висока швидкість різання на обмеженій товщині матеріалу; можливість обробки складних профілів; висока якість і низька собівартість різку на товщині матеріалу до 20 мм.

Процес плазмового різання (рис. 1.3) відбувається під дією стислою плазмовою дугою, під впливом якої метал інтенсивно розплавляється, а за рахунок високого тиску плазмового струменя продукти розплаву інтенсивно видаляються із зони різання. Плазма є іонізованим газом з високою температурою, здатним проводити електричний струм. Плазмова дуга виходить в спеціальному пристрої - плазмотроні - в результаті її стискування і вдування в неї плазмоутворюючого газу. Розрізняють дві схеми: плазмодугове різання; різання плазмовим струменем



а) – плазмова дуга; б) – плазмовий струмінь;

1 – подача газу; 2 – дуга; 3 – струмінь плазми; 4 – оброблюваний метал;
5 – наконечник; 6 – катод; 7 – ізолятор; 8 – катодний вузол

Рисунок 1.3 – Схема плазмового різання

При плазма-дуговому різанні дуга горить між неплавким електродом і металом (дуга прямої дії), що розрізає. Стовп дуги поєднаний з високошвидкісним плазмовим струменем, який утворюється з газу, що поступає, за рахунок його нагріву і іонізації під дією дуги. Для розрізання використовується енергія однієї з при електродних плям дуги, плазми стовпа і витікаючого з нього факела.

При різанні плазмовим струменем дуга горить між електродом і формувальним наконечником плазмотрона, а оброблюваний об'єкт не включений в електричний ланцюг (дуга побічної дії). Частина плазми стовпа дуги виноситься з плазмотрона у вигляді високошвидкісного плазмового струменя, енергія якого і використовується для розрізання.

Плазмено-дугове різання ефективніше і широко застосовується для обробки металів. Різання плазмовим струменем використовується рідше і

переважно для обробки неметалічних матеріалів, оскільки вони не обов'язково мають бути електропровідними.

Плазмове різання застосовується для різання алюмінієвих сплавів завтовшки до 120 мм, мідних до 80 мм, легованих і вуглецевих сталей товщиною до 50 мм, чавуну товщина до 90 мм [12, 13].

Електроерозійна обробка є технологічним процесом, при якому руйнування матеріалу, зміна його форми і структури відбувається під дією електричного розряду, що виникає між двома електродами, пари катод-анод, одним з яких є заготівки. Якщо по електродах пропускати струм, то в просторі між ними виникне напруга за рахунок електричного поля. При зближенні відстані між електродами до критичного виникне розряд, що служить каналом електрики, що проводить. Щоб підвищити силу розряду електроди поміщаються в рідину, що є діелектриком, в якості якої використовують різні олії мінерального характеру або гас. Струм, що проходить по освіченому каналу, нагріває діелектричну рідину, доводячи її до кипіння і подальшого випару з утворенням газового пухиря. Усередині цього пухиря виникає потужний розряд, що супроводжується потоком електронів і іонів. Бомбардуючи електрод, вони створюють плазмовий потік. В результаті в зоні розряду температура підвищується до 10000-12000 К і миттєво розплавляє метал з утворенням ерозійного поглиблення у вигляді лунки. Значна частина розплаву випаровується, а на поверхні металу в лунці після його охолодження залишається шар, склад якого відрізняється від складу початкового металу.

Найбільш ефективною і перспективною є технологія гідроабразивного різання [14].

Гідроабразивна обробка (різання) - вид абразивної обробки, при якій розрізання матеріалу робиться тонким струменем суміші води і абразиву, що випускається з високою (надзвуковий) швидкістю і під високим тиском. Процес є ерозійним руйнуванням під дією робочого струменя, при якій дрібні частинки абразиву знімають шар мікростружки, а вода, евакуює їх із

зони різання.

Перші згадки про використання водного струменя для вирішення різних технічних завдань з'явилися більше ста років тому. Близько 1870 року ця технологія почала застосовуватися в золотодобуванні. У подальші за цим роки вона отримала стрімкий розвиток.

При цьому технологія застосовувалася спочатку виключно в гірничодобувній промисловості. Тільки до середини ХХ століття з'явилися досліді застосування цієї технології для очищення робочих поверхонь від сильних забруднень. Розвиток відповідних насосів зміг підвищити тиск струменя до такої потужності, що стало можливим різати деякі неметалічні матеріали [15].

Початок 80-х років ознаменувався новим етапом розвитку в цій області після того, як стало можливим домішувати до водного струменя частки твердих матеріалів. Таким чином, стало можливим обробляти практично усі матеріали з допомогою, так званого гідроабразивної обробки [16, 17].

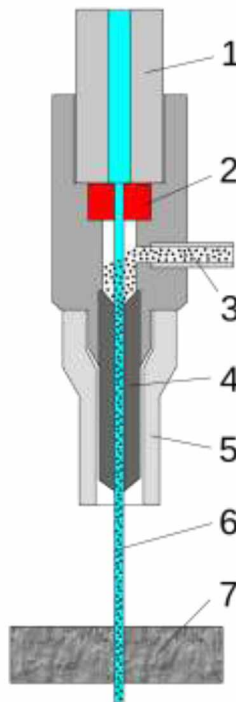
1.3 Аналіз технологічного процесу гідроабразивної обробки

Принципово можна виділити два типи обробки – різання тільки водою (різання гідроструменем) і різання з домішуванням абразиву (різання гідроабразивним струменем) (рис. 1.4).

При різанні чистою водою статичний тиск компактного струменя, як і при ерозійній дії звичайної водяної краплі, призводить до вимивання матеріалу. Для різання гідроструменем потрібне як можна тонше подавання води. Діаметр струменя лежить в межах 0,08-0,45 мм. Гідрострумінь дозволяє обробляти неметалеві матеріали, камінь. Різального здібності гідро струменя бракує для різання металів.

З домішуванням до струменя твердих часток відбувається мікроруйнування матеріалу, а водяний струмінь служить лише прискорювачем цього процесу. З'являється можливість обробляти матеріали,

які не можуть бути порізані тільки водою, і в цілому значно підвищувати продуктивність і якість різання в порівнянні з різанням просто водою [18].



1 – труба 2 – водяне сопло; 3 – абразив; 4 – змішувальна камера; 5 – фокусуюча трубка; 6 – гідрострумінь; 7 - заготівка

Рисунок 1.4 – Схема різання гідроабразивним струменем

В якості абразиву використовують загострені подрібнені мінерали з величиною зерна від 0,1 до 0,3 мм. Залежно від оброблюваного матеріалу і товщини кількість використовуваного абразиву складає від 100 до 600 г/хв [19].

Найбільш оптимальна якість абразиву для гідроабразивної обробки має гранатовий пісок – природний мінерал, абразив високої міцності. Але також використовуються і інші види природних мінералів, наприклад абразивні матеріали, отримані штучним шляхом такі як зерна електрокорунду. Застосування останніх обмежене. Ці матеріали дозволяють підвищити продуктивність різання, але при цьому в рази зменшується стійкість змішуючого сопла [20].

Гранатовий пісок має високу твердість 7,5 – 8,0 за шкалою Мооса і ідеальною формою зерна. Щоб гарантувати якість різання абразив не повинен містити великих зерен ($>1/3$ діаметри фокусу), а такожпилу ($<0,03$ мм). Складається з наступного хімічного складу: SiO_2 -36%, Al_2O_3 -20%, FeO -30%, Fe_2O_3 -30%, TiO_2 -1%. Зазвичай використовується абразив розмірами від 80 мкм до 120 мкм [20].

Оливин – мінерал, силікат магнію і заліза. Має твердість 6,5-7,0 за шкалою Мооса, щільність $3,2\text{-}3,6$ г/см³, має зеленуватий, оливковий колір. Хімічний склад MgO -49%, SiO_2 -41%, Fe_2O_3 -7% [20].

Електрокорунд – вогнетривкий і хімічно стійкий надтвердий матеріал, що отримується на основі оксиду алюмінію (синтетичний корунд — 88-99% Al_2O_3). Мікротвердість електрокорунда лежить в межах 1800-2400 кгс/мм . Щільність 4 г/см . Електрокорунд розм'якшується при температурі 1750 °С, плавиться при 2050 °С. Модуль пружності $7,6 \cdot 10^{11}$ Н/м², твердість 9 за шкалою Мооса [20].

Твердість, форма і розмір абразивного зерна роблять істотний вплив на процес гідроабразивної обробки. Дрібніший розмір часток дозволяє досягти більш високих параметрів шорсткості поверхні, при цьому глибина різа зменшується [21, 22].

Устаткування для гідроабразивної обробки включає наступні основні системні компоненти:

- насос високого тиску,
- трубопровід високого тиску,
- клапан високого тиску і різальна голівка,
- система для уловлювання струменя,
- кріплення заготовки,
- подача абразиву,
- керування,
- система подачі інструменту.

Для оптимального режиму різання тиск водяного струменя повинен

досягати як мінімум 350 МПа. Для того, щоб досягти такого тиску використовуються спеціальні насоси високого тиску.

Включення і виключення подання тиску на різальну голівку управляється за допомогою системи ЧПК верстата і замикаючого клапана високого тиску.

Безпосередньо різальним інструментом в технології гідроабразивного різання є струмінь води з абразивом, що проходить через форсунки, змішувальну камеру і фокусувальну камеру.

Вода, що подається під тиском, проходить через фокусуючу форсунку (дюзу) в змішуючу камеру, в якій відбувається змішування води з абразивом. Далі суміш проходить через змішуючу трубку і випускається з неї. Діаметр різального струменя залежить від діаметру змішуючої трубки [23].

Діаметр фокусуючої трубки має бути в три рази більше діаметру форсунки.

Основна функція форсунки – калібрування струменя що подається трубопроводом високого тиску в різальну голівку. При різанні тільки водою форсунка є єдиним різальним пристосуванням. Форсунка складається з каменю форсунки, основи форсунки і корпусу форсунки. Термін експлуатації форсунок варіюється, і залежить від виду каменю, подання абразиву, тиску і зернистості абразиву. Приміром, термін експлуатації твердосплавної форсунки складає близько 20-30 робочих годин, форсунки з сапфіра близько 300 годин.

Витрата води залежить від діаметру сопла, і робочого тиску. Чим більше тиску і діаметр сопла, тим більше росте споживання води.

Існує декілька різновидів систем подання абразиву. Нагнітальний - за допомогою стислого повітря абразив вдувається в камеру змішувача.

Сфера застосування технології гідроабразивної обробки дуже велика. Наскільки різноманітні види матеріалу, що розрізає, і сфери застосування отримуваних частин, настільки різною може бути і якість розрізу - від щонайтоншої окантовки до грубого різ. Мета застосування отримуваної

деталі, товщина і вид матеріалу обумовлюють якість розрізу, тобто швидкість подання струменя, що задається. Від цієї швидкості залежить прямокутність, конусність різа, величина шорсткості і якість окантовки. Чим повільніше швидкість, тим рівнішою, прямокутною і гладкою буде кромка. Різну якість різання можна використати не лише в одній деталі, але навіть під час виконання одного розрізу, роблячи тим самим виготовлення такої деталі економічнішою [24].

Переваги гідроабразивної обробки:

- Різання практично будь-яких матеріалів і їх комбінацій (метал, пластмаса, скло, камінь, дерево, композитні матеріали).
- Незначний вплив на матеріал. Відсутня термічна дія, що виключає зміну структури оброблюваного матеріалу. Незначне механічне навантаження на деталь.
- Величезний спектр товщини матеріалу. Товщина різання становить для металів від 0,1 до 300 мм .
- Різання контурів із складною 3D геометрією.
- Висока якість кромки.

Процес гідроабразивного різання складний і маловивчений, ефективність якого залежить від безлічі технологічних параметрів. Умовно їх можна розділити на три групи: параметри матеріалу (товщина і фізико-механічні властивості матеріалу), параметри різального струменя (зернистість і форма абразиву, кількість абразиву в різальному струмені, міцність абразиву, тиск різального струменя, діаметр різального струменя) і режими різання (подача сопла різальної голівки, кут нахилу різального струменя, відстань від сопла до обробленої поверхні) [19].

Незважаючи на ряд переваг, гідроабразивної обробки має і ряд недоліків, природа яких пов'язана з втратою струменя різальної здатності при проходженні через товщу матеріалу. Багато в чому вона залежить від кінетичної енергії, швидкості струменя. По перерізу різку спостерігається нерівномірність розподіл шорсткості, утворення так званих зон гладкого і

хвилястого різну (рис. 1.5). Одна зона плавно перетікає в іншу.

Зона гладкого різну є рівномірною гладкою поверхнею з шорсткістю, що встановилася. Зона хвилястого різну є хвилястою структурою з виїмками, які є "комами", спрямованими убік зворотну напрямку подання різального струменя. Пропорціональність цих зон залежить від режимів обробки. Область гладкого різну росте з уповільненням швидкості подання. Тим самим загальна шорсткість поверхні кромки буде менше [25].



а) недоріз на місці входу-виходу струменя; б) утворення лунок на перетині внутрішніх граней деталі; в) нерівномірність шорсткості поверхні різну, утворення задирок

Рисунок 1.5 – Дефекти гідроабразивного різання

При різанні внутрішніх отворів може відбуватися ушкодження контура. Струмінь перескакує у вже наявний контур. Для зменшення цього ефекту рекомендується понизити швидкість у кінці різну, щоб струмінь вирівнявся паралельно кромці. Також на місці входу-виходу різального струменя утворюється задирка або недоріз.

Процес гідроабразивної обробки складний і маловивчений процес. Велика частина робіт описує розмірні характеристики процесу, точність профілю різну, відхилення профілю різну, конусоподібність різну. Ці роботи у своїй основі мають емпіричний характер дослідження процесу [25].

У ряду фірм, таких як DEG, FLOW, Waterjet існує ряд рекомендацій, у вигляді таблиць, по вибору режимів різання, але ці значення є приблизними і носять емпіричний характер. Вибираючи коефіцієнт якості різу, матеріал і товщину оброблюваної заготовки оператор вибирає швидкість подання. Для визначення швидкості різання існує метод пробних проходів, при якому оператор, - той, що налагоджує, зробивши декілька різів, коригує швидкість подання переміщення сопла. Цей метод вимагає додаткових тимчасових витрат, а також матеріалу заготовки [25].

Окрім розмірних характеристик виробу, повинно враховуватися і стан поверхневого шару деталі, що виготовляється. Шорсткість поверхні деталі багато в чому визначає працездатність майбутнього виробу. Також вона несе в собі і естетичний характер [19, 26].

Висновки і завдання досліджень

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

1. Виконати теоретичні та експериментальні дослідження формування профілю шорсткості поверхні різу в залежності від параметрів обробки і глибини перетину різу;
2. Провести теоретичні дослідження утворення зони хвилястого різу в залежності від технологічних параметрів процесу;
3. Розробка методичного забезпечення прогнозування якості поверхні різу;
4. Розробка методики оптимізації технологічного процесу гідроабразивного різання.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологічне обладнання гідроабразивного різання

Експериментальні дослідження процесу гідроабразивного різання проводилися на базі ПАТ «АвтоКрАЗ» з використанням установки 5-ти осьового гідроабразивного різання виробництва фірми «Amada» (рис. 2.1-2.5). Установка дозволяє обробляти практично будь-які види матеріалів, як метали, так і полімеркопозитні. Наявність 5-ти керованих координатних осей дозволяє обробляти не тільки плоскі деталі, але і деталі зі складною 3D геометрією. Дана установка дозволяє розрізати сталеві заготовки товщиною до 250 мм. Перевагою даної установки є висока продуктивність та надійність.



Рисунок 2.1 – Установка гідроабразивного різання фірми «Amada»

Установка складається з робочого столу для кріплення заготовок, ванни з водою для гасіння струменя, ріжучої головки, на якій встановлені змішуюча

і фокусуються трубки. Головка кріпиться на порталі, в місці кріплення головки до порталу розташовані дві керовані поворотні осі В і С. Портал переміщається по трьом лінійним координатним осях Х, Y, Z. На порталі розміщено пристрій для подачі абразиву, який ежекційним способом надходить в змішують камеру.

Стійка ЧПК керує переміщеннями робочих органів (рис. 2.2), включенням вимиканням подачі абразиву, насосом високого тиску. Насос-мультиплікатор створює високий тиск води, яке через трубопровід високого тиску подається в зону різання (рис. 2.3).



Рисунок 2.2 – Пристрій ЧПК установки фірми «Amada»



Рисунок 2.3 – Насос високого тиску



Рисунок 2.4 – Бункер для подачі абразиву

2.2. Прилади й пристосування для проведення експериментальних досліджень

Для контролю результатів обробки використовувалися різні сучасні засоби контролю. Для візуального контролю зразків і виконання фотознімків використовувався цифровий фотоапарат.

Для дослідження величини шорсткості поверхні використовувався цифровий профілометр контактного типу Surtronic 25. Технічні характеристики профілометра представлені в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики профілометра

Діапазон датчика	± 150 мкм
Роздільна здатність	0.01 мкм
Максимальна довжина траси	25.4 мм
Мінімальна довжина траси	0.25 мм
Тип датчика	індуктивний
Щуп алмаз, радіус	5 або 10 мкм
Швидкість переміщення	1 мм / сек
Базова довжина	0.25, 0.8, 2.5 мм
Допустима похибка	2%

Обробка профілограм проводилася в спеціалізованому програмному забезпеченні.

Аналіз форми і зносу абразивних зерен проводився на цифровому мікроскопі MarVision I220.



Рисунок 2.5 – Цифровий мікроскоп для вимірювання розміру зерен абразиву

Дослідження впливу контакту води на полімерні композиційні матеріали вироблялося методом диференційної скануючої калориметрії (ДСК). Як устаткування застосовувався диференційно скануючий калориметр ІХС 200 Mai.

На даному приладі проводилося порівняння матеріалу, який був підданий гідроабразивній обробці з матеріалом в сухому стані, а також через тиждень після різання.

З поверхні зразків знімався шар стружки, потім проводилося зважування і здійснювали нагрів в алюмінієвій камері. Нагрівання проводився зі швидкістю 4 °С в хвилину від кімнатної температури до 300°С.

Для контролю твердості (рис. 2.6) зразків використовувався твердомір ТР-150Р (за шкалою Роквелла).



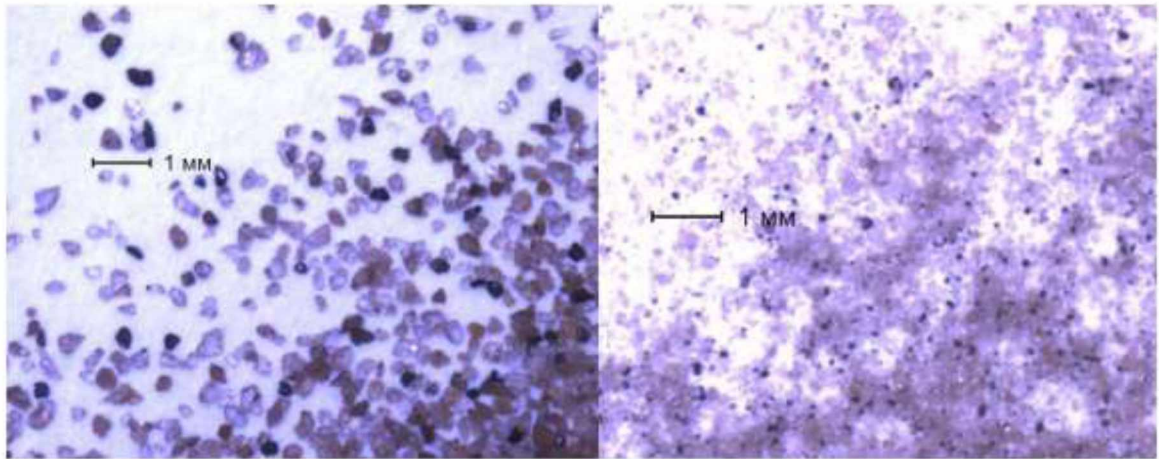
Рисунок 2.6 – Твердомір TP-150P

2.3. Вибір матеріалів для досліджень

Матеріал для зразків підбирався з урахуванням актуальності використання його при виготовленні деталей машинобудування. Також враховувалася і можливість перевірки теоретичних моделей на універсальність застосування теоретичних залежностей, як на м'яких, так і на твердих матеріалах. З урахуванням розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки до уваги брали і використання неметалів.

Для експериментальних досліджень вибрали зразки з композиційного матеріал типу склопластик-титан.

В якості ріжучого матеріалу використовувався гранатовий пісок - природний мінерал високої розмірної точності. Перед тим як потрапити в бункер установки абразивні зерна просіваються через калібрувальну сітку з розміром комірок 80 мкм (рис. 2.7).



до процесу різання

після процесу різання

Рисунок 2.7 – Досліджуваний абразив

В якості технологічної рідини використовується водопровідна вода.

Для зміни величини витрати абразиву Q застосовували різні дозуючі кільця (рис. 2.8). Вони являють собою шайби, з каліброваним отвором в центрі, розмір якого визначає, яку кількість абразиву в одиницю часу надходить в зону різання. Співвідношення витрат абразиву і діаметра кілець приведено в таблиці 2.2.



Рисунок 2.8 – Кільця калібрувальні для подачі абразиву

Таблиця 2.2 – Відношення витрати абразиву і діаметра кілець

Витрата абразиву Q , г/хв	Діаметр кільця, мм
283	4,673
340	4,978
395	5,232
430	5,461
475	5,638
522	5,816
571	6,019

2.4. Методика проведення досліджень

Число корисних взаємодії абразивних частинок в одиницю часу λ визначали шляхом порівняння значень, отриманих розрахунком за регресійними моделям виведених за експериментальними даними і теоретичної залежності шорсткості поверхні R_a . На установці гідроабразивної обробки проводилася обробка зразків з різних матеріалів при різних параметрах технологічного процесу. Для цього поступово змінювалася подача від 5, до величини при якій припинялося наскрізне прорізання металу.

Також проводилися дослідження впливу витрати абразиву на величину шорсткості поверхні різку, подачу S брали 25 мм/хв. Витрата абразиву змінювали згідно з таблицею 2.2.

Після процесу різання знімали профілограми з поверхні оброблених ділянок. Після чого з використанням програми MathCAD методом найменших квадратів знаходилося рівняння регресії для кожного матеріалу і технологічного режиму.

Дослідження шорсткості різання проводилося на прямокутних зразках за схемою наведеною на рис. 2.9.

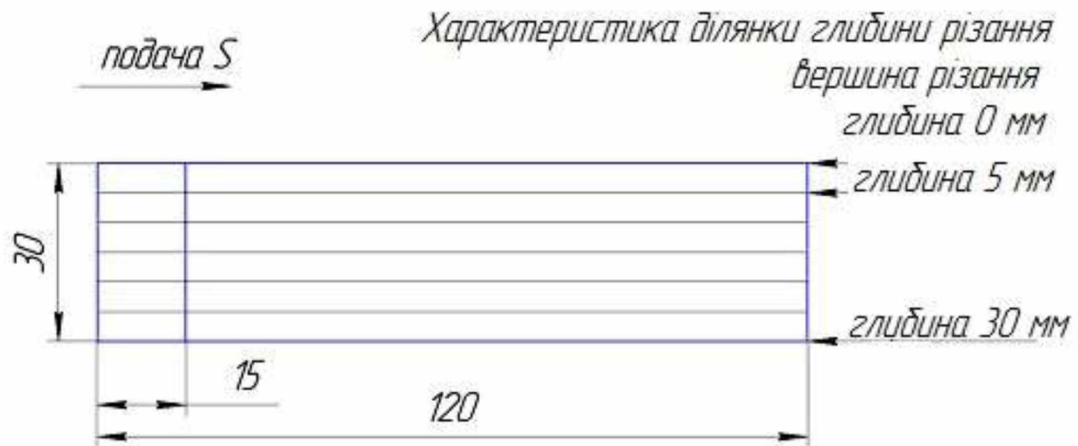


Рисунок 2.9 – Схема вимірювання шорсткості

Дані отримані в результаті експериментальних досліджень зводилися до таблиці, на основі яких будувалися залежності $R_a(S, h)$, $R_a(Q, h)$, $R_a(H, h)$.

Після цього проводилося порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень, знаходилося значення функції λ .

Висновки

1. Приведена методика формування факторного експерименту.
2. Використана методика визначення основних фізико-механічних полімеркомпозитних матеріалів.
3. Запропонована методика проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ3.1. Теоретичний аналіз технологічного процесу різання
полімеркомпозитних матеріалів

Основною характеристикою технологічного процесу різання є тиск ріжучої струменя. Від цього параметра безпосередньо залежить разрізаємість матеріалу. Чим вище тиск, тим краще відбувається процес різання. Тиск струменя регулюється насосом установки, і через складності устаткування цей параметр часто не підлягає варіацій. Виходячи з основ гідродинаміки, від величини тиску залежить швидкість потоку рідини. Чим вище тиск, тим вище швидкість потоку суміші, яка виривається з сопла, а значить і вище кінетична енергія струменя. Проходячи крізь товщу матеріалу, струмінь втрачає свою енергію, швидкість, саме тому спостерігається нерівномірність розподілу шорсткості по глибині різі.

Надзвуковий струмінь можна розглядати як твердий ріжучий абразивний інструмент певного діаметру. Розглянемо схему струменя і поверхні які утворюються в процесі обробки.

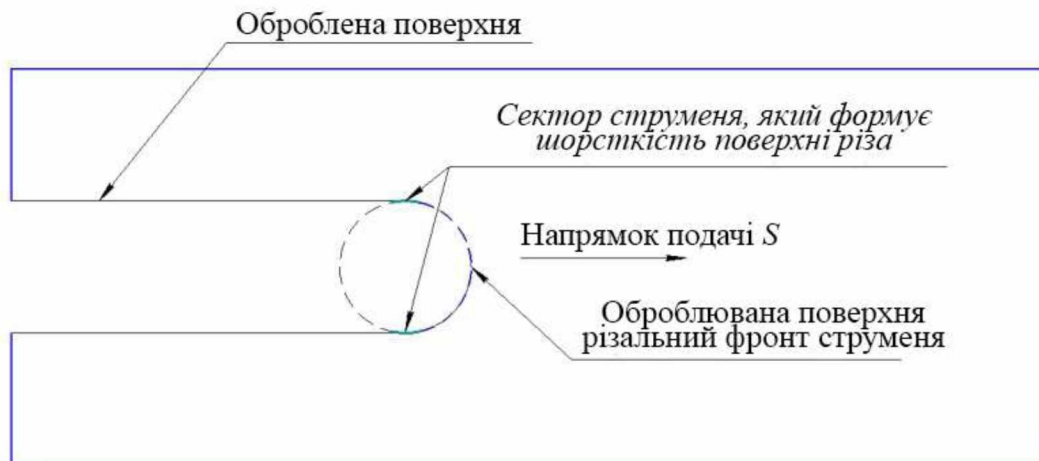


Рисунок 3.1 - Схема фронту ріжучого струменя

З рисунку видно, що в формуванні поверхні різку бере участь лише частина, невеликого сектора ріжучого струменя. Основна частина струменя (рис. 3.2) руйнує матеріал заготовки, при цьому відомо, що відбувається ефект відображення ріжучого струменя. Частина зерен при контакті з матеріалом відскакує вбік протилежну швидкості струменя, тим самим заважаючи таким зернам потрапити в зону різання (рис. 3.3). При проникненні струменя до низу різку, зростає кут атаки впровадження частинок. Більше число частинок, не викликаючи корисних зіткнень відбиваються від матеріалу, нові частинки зустрічаючи перешкоду відбиваються, блокуючі частки надходять в зону різання, і в результаті утворюється зона хвилястого різку з грубою шорсткістю поверхні.

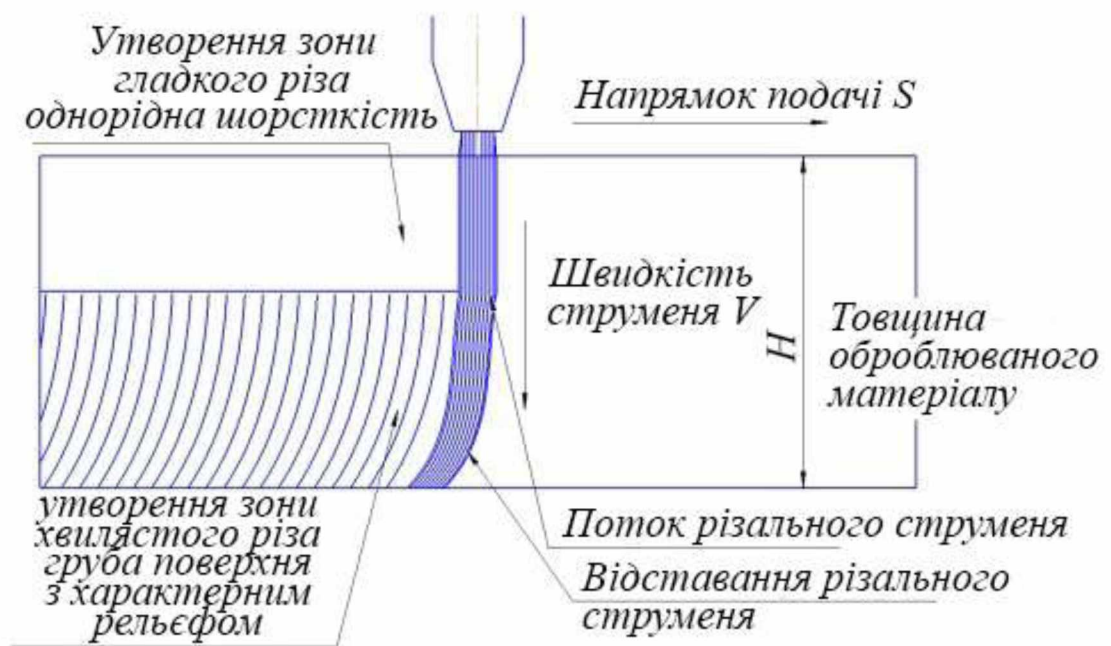


Рисунок 3.2 - Схема ріжучого струменя

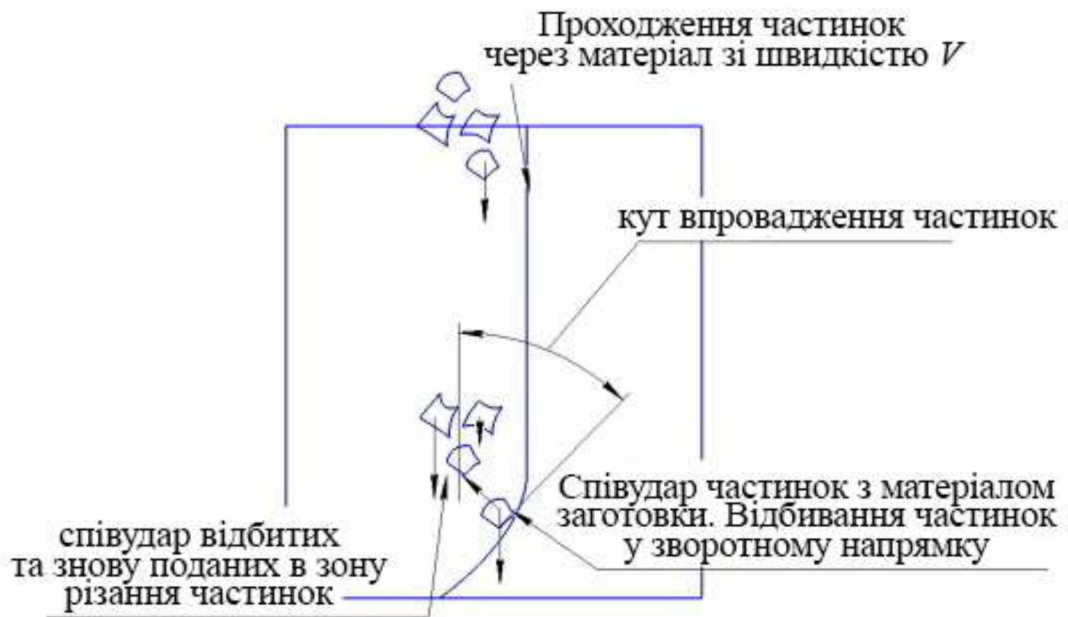


Рисунок 3.3 - Взаємодія частинок з матеріалом заготовки

Шорсткість поверхні утворюється внаслідок проходження сектора ріжучого струменя. Кожна частинка при контакті з матеріалом створює пластичні і пружні деформації, залишаючи після себе подряпину, ширина і глибина якої залежить від форми і розміру цієї частки, кута впровадження частинки в матеріал, швидкості і траєкторії руху. Шорсткість поверхні буде складатися з сукупності цих подряпин, взаємно пересічних і накладаючих один на одного. Але не всі частинки знімають шар матеріалу, а тільки частина з них.

Очевидно, що число корисних зіткнень буде залежати від кількісної концентрації абразивних частинок в ріжучому струмені. Чим більше частинок буде проходити в одиницю часу через дану ділянку поверхні, тим більше число зіткнень буде відбуватися, а значить, буде утворюватися менша шорсткість поверхні. При збільшенні подачі ріжучого сопла, зменшується число взаємодій в одиницю часу, так як формоутворювальний сектор швидше переміщається щодо матеріалу. При збільшенні тиску, зростає швидкість струменя, а значить знову ж, виходить менше значення

шорсткості. А при збільшенні розміру абразивних частинок в суміші шорсткість обробленої поверхні буде зростати, так як великі зерна залишають глибші сліди - подряпини, величина яких безпосередньо залежить від форми і розміру абразиву.

Відстань від сопла до ріжучої поверхні впливає на розсіювання струменя. При контакті з повітрям виходить факел, струмінь втрачає свою ріжучу форму, концентрацію. При цьому зростають кути атаки абразивних частинок по відношенню до оброблюваної поверхні, кількість взаємодій падає, зростає шорсткість поверхні різу [23].

Полікомполімерні матеріали складаються з комбінації двох і більше матеріалів, основи і сполучного, які в сукупності мають кращі фізико-механічні властивості при меншій вазі в порівнянні з класичними металами. Анізотропна структура дозволяє розподіляти корисне навантаження по всій конструкції матеріалу. Як правило, шари основи укладаються у взаємно протилежних напрямках, а сполучна частина забезпечує нерухомість і заповнює простір між шарами.

Механічна обробка ПКМ супроводжується утворенням розшарувань, розкуйовджуються волокна поблизу місця обробки. Також існують і деякі особливості обробки ПКМ. При різанні виділяється велика кількість тепла, яке викликає пригорання, руйнування матеріалу. Однак застосування змащувально-охолоджуючих рідин заборонено, так як шари матеріалу дуже поглинають вологу. Її вплив викликає розшарування, набухання і втрату фізико-механічних властивостей матеріалом [5, 24].

Застосування гідроабразивного різання для обробки ПКМ вимагає дослідження впливу води на стан поверхні різу. Умовно можна припустити, що надзвуковий струмінь води з абразивом володіє настільки великою енергією, що її взаємодія можна розглядати як вплив твердого абразивного інструменту. При різанні вода не відхиляється від траєкторії руху, і вплив на матеріал заготовки мінімальний.

Для визначення впливу процесу гідроабразивного різання необхідно проведення експериментальних досліджень, виготовлення зразків і перевірка поверхневого шару матеріалу методом диференційно скануючої калометрії (ДСК). ДСК показує перехід матеріалу в інший фазовий стан. Вплив води змінює криву, пік переходу зміщується. Для цього необхідно порівняти зразки до різання гідроабразивом, після різання, і через деякий час після різання. Очевидно що поглинання вологи буде відбуватися, але через певну кількість часу волога випарується.

Таким чином можливо визначити який вплив надає гідроабразивна різання на структуру ПКМ.

3.2. Результати досліджень гідроабразивного різання полімер-композитних матеріалів

Експериментальні дослідження проводилися на склопластику ВПС-7, армованим титанової фольгою ОТ4-0-0,1 $\times$ 220 і застосовуваним для виготовлення лонжерона [24].

Лонжерон - основний силовий елемент, що виготовляється методом сухого спірального намотуванням на верстатах з ЧПУ 12 шарів односпрямованих стеклолент з попереднім підпресуванням в автоклаві і остаточним затвердінням в прес-формі (рис. 3.4). Одна з особливостей конструкції лонжерона - складна просторова геометрія зі значно відрізняється кривизною поверхні в поздовжньому і поперечному напрямках і задана теоретичним контуром.

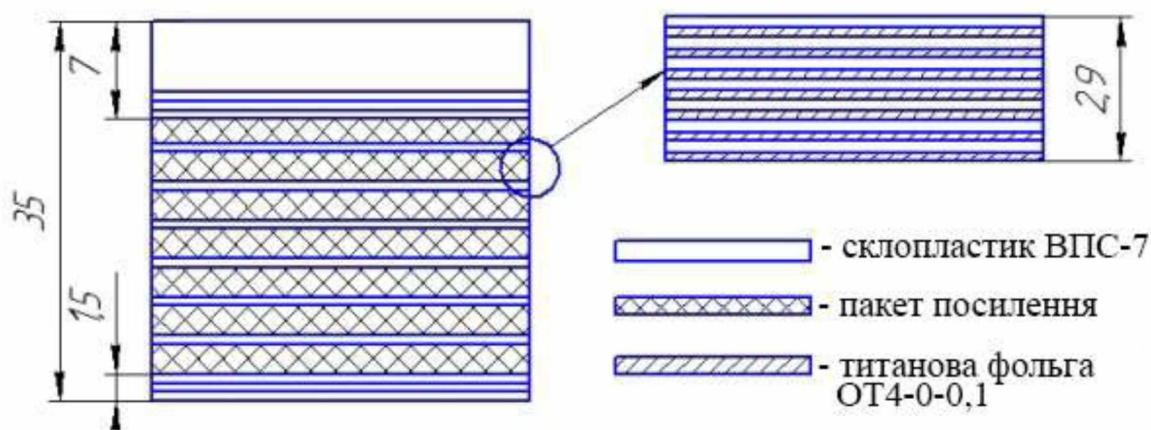


Рисунок 3.4 - Схема укладання і розташування шарів титану й склопластику

Один пакет посилення складається з 7 шарів склотканини Т-10-14 шириною 230 мм і 7 стрічок ОТ4-0-0,1х220. Сполучна ЕДТ-10П являє собою композицію з епоксидних смол, затверджувача тріетаноламінтитаната (ТЕАТ), продукту КДА або КДА-2 (додається для зниження в'язкості ТЕАТ і забезпечення його рівномірного розподілу в сполучному), продукту АДЕ-3 і спирто-ацетоновій суміші. Залежно від партії смоли і затверджувача затвердіння відбувається при 90-105°C. Намотування ведуть під кутом $\pm 45^\circ$ в окоренкові частини і кутом $\pm 30^\circ$ на всій решти. Кут намотування задано щодо поздовжньої осі лонжерона.

При виготовленні деталей з ПКМ застосовуються різні операції, такі як фрезерування, свердління і розгортання отворів. Трудомісткість цих операцій досить велика. Застосування технології гідроабразивного різання дозволить в рази скоротити трудомісткість виготовлення деталей.

Експериментальні дослідження показують, яка якість поверхні і за яких режимах обробки можна отримати при гідроабразивного різання (рис. 3.5). Зразки розрізали при ступінчастому зміні подачі сопла ріжучої головки від 5 до 480 мм / хв. З огляду на анізотропію властивостей матеріалу і шарувату структуру, шорсткість поверхні різку вимірювали в двох напрямках: перпендикулярно і вздовж напрямку подачі.



Рисунок 3.5 – Поверхня різку зразків з композитного матеріалу типу склопластик-титан при збільшенні подачі від 5 до 480 мм/хв

На підставі отриманих даних був проведений регресійний аналіз, результатом якого є однофакторний модель формування поверхні різку при вимірюванні шорсткості поперек перетину різку (рис. 3.6) і двофакторна модель описує формування профілю шорсткості поверхні різку при вимірюванні шорсткості вздовж розтину різку і зміні глибини вимірювання шорсткості (рис. 3.7).

$$Ra = 3.538 \cdot 10^{-6} + 4.721 \cdot 10^{-6} \cdot S \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} Ra = & 2.706 \cdot 10^{-13} \cdot S \cdot h - 3.157 \cdot 10^{-10} \cdot h + 1.886 \cdot 10^{-8} \cdot h^2 - \\ & - 3.062 \cdot 10^{-7} \cdot h - 1.301 \cdot 10^{-10} \cdot S \cdot h + 1.469 \cdot 10^{-12} \cdot S^2 \cdot h + \\ & + 4.288 \cdot 10^{-6} + 1.324 \cdot 10^{-8} \cdot S - 5.142 \cdot 10^{-11} \cdot S^2 + 7.308 \cdot 10^{-14} \cdot S^3 \end{aligned} \quad (3.2)$$

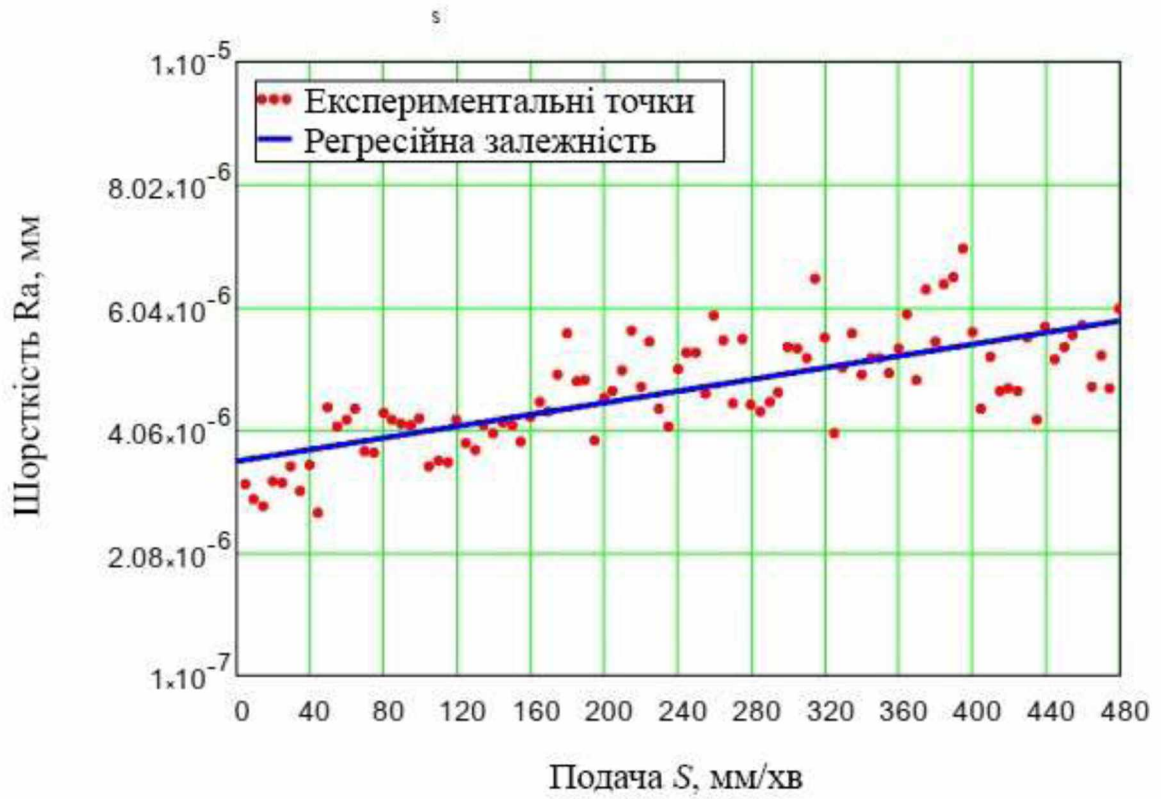


Рисунок 3.6 – Формування шорсткості поверхні різу при вимірюванні поперек перетину різу

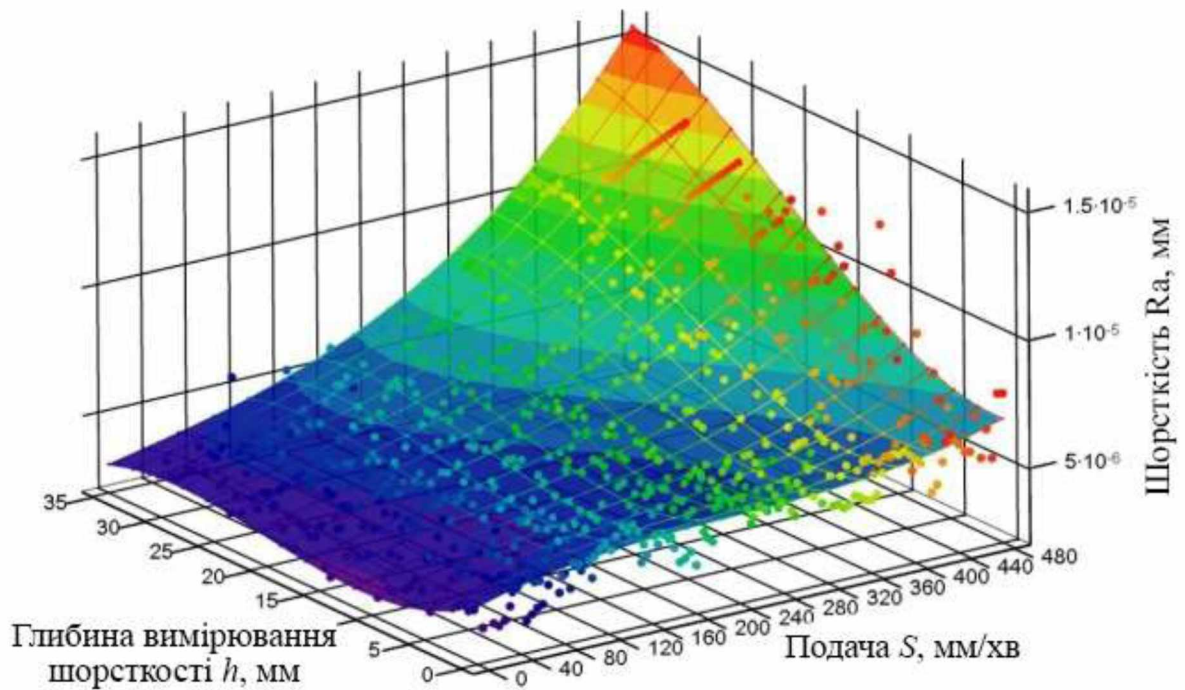


Рисунок 3.7 – Двухфакторная модель формування шорсткості поверхні різу при вимірюванні шорсткості вздовж розтину різу

Як і при обробці інших матеріалів при обробці композиційних матеріалів утворюється дві зони шорсткості: гладкого і хвилястого різну. Отримані моделі дозволяють оцінити величину зони хвилястого і гладкого різну.

3.3. Дослідження впливу води на термофізичні властивості композиту при гідроабразивному різанні

ПКМ на основі склопластику дуже чутливі до поглинання вологи, тому для того щоб переконатися в можливості обробки даного типу матеріалу гідроабразивним способом проводилися дослідження методом диференційно скануючої калориметрії. Для цього порівнювали сухий матеріал з шаром матеріалу, де відбувався контакт з гідроабразивного струменем (рис. 3.8). Дослідження проводили як відразу після різання, так і через тиждень, після висихання зразків. Шар стружки знімався в зоні 1мм від краю різну.

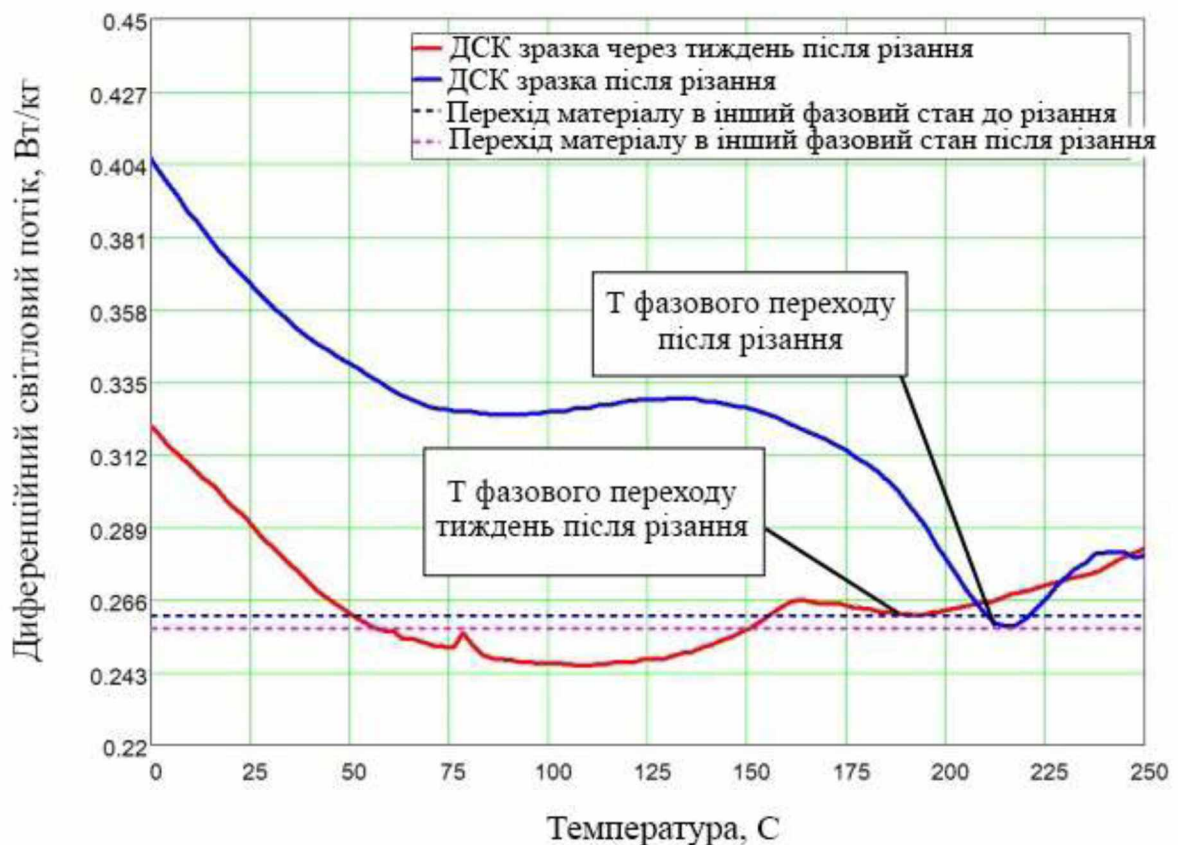


Рисунок 3.8 - Термограма ПКМ до і після гідроабразивного різання

Результати експерименту свідчать про те, що в процесі різання відбувається поглинання води прилеглих до гідроабразивного струмені шарів матеріалу. Про це свідчить зміна температури переходу матеріалу в інше фазовий стан. Однак через тиждень після висихання матеріал знову приймає вихідні характеристики. Таким чином можна вважати що застосування технологію гідроабразивного різання можливо застосовувати до ПКМ.

Висновки

1. Доведено підвищення ефективності процесу гідроабразивного різання за рахунок оптимізації режимів обробки на основі формування шорсткості різіу.
2. Результати досліджень дозволили отримати залежність зміни шорсткості різіу від режимів різання, товщини і виду матеріалу, що відрізняються можливістю визначення величини зони гладкого і хвилястого різіу.
3. Доведена можливість виконання технологічного процесу гідроабразивного різання полімеркомпозитних матеріалів без зменшення якості процесу.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;

– державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці

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

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

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

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

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

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли

його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

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

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

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

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і

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

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

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

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробок

Загальним для усіх типів є собівартість різання. Значення собівартості різання розраховується виходячи з вартості установки, витрат енергії, води, абразиву, амортизаційних витрат, зарплати робітника. Очевидно, що собівартість різання буде тим менше, чим швидше відбуватиметься процес обробки, тобто буде найбільшим значення подання сопла різальної голівки [29].

Розрахунок собівартості різання визначається за формулою:

$$C_{\text{реза}} = C_{\text{ам}} + C_{\text{эл.эн}} + C_{\text{вод}} + C_{\text{обсл}} + C_{\text{абр}} + C_{\text{вод}} + C_{\text{н.ч.раб}} \quad (4.1)$$

де $C_{\text{ам}}$ - амортизаційна вартість устаткування, грн./год;

$C_{\text{ел}}$ - витрати на використання електроенергії, грн./год;

$C_{\text{то}}$ - витрати на технічне обслуговування установки (заміна сопла,

дюзи, фільтрів, гумових ущільнювачів) , грн.;

$C_{\text{пов}}$ - витрати на споживання стислого повітря, грн.;

$C_{\text{абр}}$ - витрати на абразив, грн.;

$C_{\text{вод}}$ - витрати на воду, грн.;

$C_{\text{з.п.}}$ - витрати на заробітну плату технічного працівника, грн.

$$C_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{уст}}}{10 \cdot T} = \frac{31681803}{10 \cdot 247 \cdot 16} = 801,665 \quad \text{грн/год} \quad (4.2)$$

де $C_{\text{обл}}$ - вартість обладнання, грн.;

$P_{\text{ф}}$ - річний фонд робочого часу з урахуванням роботи у дві зміни, год.

$$C_{\text{эл.эн}} = (W_{\text{прив}} + W_{\text{нас}}) \cdot C_{\text{эл}} = (2.5 + 30) \cdot 3.6 = 117 \quad \text{грн/год} \quad (4.3)$$

де $W_{\text{прив}}$ - потужність приводів,

$W_{\text{нас}}$ - потужність насоса.

Витрати на споживання повітря згідно [] $C_{\text{пов}} = 0,417$ грн/год.

$$C_{\text{обсл}} = \frac{1800000}{T} = \frac{1800000}{247 \cdot 16} = 455,46 \quad \text{грн/год} \quad (4.3)$$

$$C_{\text{абр}} = C_{\text{г.абр}} \cdot Q = 0,02 \cdot Q = \text{грн/год} \quad (4.4)$$

де $C_{\text{г.абр}}$ - вартість 1г абразиву;

Q - витрата абразиву, г/хв.;

Заробітна плата технічного працівника згідно [43], становить $C_{\text{з.п.}} = 145$ грн/год.

Час різання визначається через шлях, який проходить різальна голівка з подачею S :

$$T_{\text{реза}} = \frac{L}{S \cdot 60}, \quad (4.5)$$

де S - подача сопла, мм/хв.;

L - довжина різання.

Оптимальними режимами різання будуть ті, при яких забезпечуватиметься задана шорсткість при найменшій собівартості різання. Для розрахунку цих режимів складемо програму для підбору технологічних

параметрів різання, блок схема якої представлена на рис. 4.1.

Таблиця 4.1 – Приклад розрахунку оптимальних режимів гідроабразивної різання

Початкові дані		Результати розрахунку
Приклад №1	Матеріал - сталь 30ХГС, Вих. шорсткість $R_a = 3,2$ мкм; Діаметр часток $D = 0,08$ мм; Тиск струменя $P = 405,3$ МПа; Витрата абразиву $Q = 395$ г/хв, довжина різання $L = 400$ мм, глибина виміру $h = 5$ мм	Шорсткість: $R_a = 3,19$ мкм; Подача $S = 110$ мм/мін, Час різання $T_{\text{різання}} = 0,061$ год Вартість різання $C_{\text{різу}} = 112,55$ грн
Приклад №2	Матеріал - сталь 30ХГС, Вих. шорсткість $R_a = 3,2$ мкм; Діаметр часток $D = 0,08$ мм; Тиск струменя $P = 405,3$ МПа; Витрата абразиву $Q = 395$ г/хв, довжина різання $L = 400$ мм, глибина виміру $h = 15$ мм	Шорсткість: $R_a = 3,18$ мкм; Подача $S = 68$ мм/мін, Час різання $T_{\text{різання}} = 0,098$ год Вартість різання $C_{\text{різу}} = 182,06$ грн

Представлені рекомендації можуть використовуватися при виготовленні різних деталей загального машинобудування. При різанні рекомендується використовувати максимально можливий тиск ріжучої струменя, середні значення витрати абразиву, а також встановлювати гранично допустимі значення подачі, відповідні заданій якості.

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія підвищення експлуатаційних і технологічних показників агрегату

для обробки ґрунту за рахунок вдосконалення технологічного процесу поверхневої обробки ґрунту і розробки комбінованого робочого органу є безпечною для навколишнього середовища.

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Розроблена методика оптимізація технологічних процесів гідроабразивного різання дозволила мінімізувати витрати в 2,5 рази при досягненні необхідної шорсткості поверхні різку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Доведено підвищення ефективності процесу гідроабразивного різання за рахунок оптимізації режимів обробки на основі формування шорсткості різу.
2. Розроблені технологічні рекомендації дозволили поліпшити шорсткість обробленої поверхні, зменшити висоту зони хвилястого різу.
3. Результати досліджень дозволили отримати залежність зміни шорсткості різу від режимів різання, товщини і виду матеріалу, що відрізняються можливістю визначення величини зони гладкого і хвилястого різу.
4. Доведена можливість виконання технологічного процесу гідроабразивного різання полімеркомпозитних матеріалів без зменшення якості процесу.
5. Розроблена методика оптимізації технологічних процесів гідроабразивного різання дозволила мінімізувати витрати в 2,5 рази при досягненні необхідної шорсткості поверхні різу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дудніков А.А. та ін. Проектування технологічних процесів сервісних підприємств. Вінниця : Наукова Думка, 2011. 400 с.
2. Опальчук А.С. та ін. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Ніжин : ПП Лисенко М.М., 2013. 752 с.
3. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / под ред. А.Н. Резникова.- М.: Машиностроение, 1977. - 391 с.
4. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. Житомир, 2011. 516 с.
5. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. М. : Машиностроение, 1989. 480 с.
6. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. Л.: Машиностроение, 1977. 184 с.
7. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М.: Колосс. 2003 г. 623 с.
8. Билик Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов. – М.:Машгиз, 1960. - 198 с.
9. Царенко О.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін. – К.: Мета, 2003 – 448с.
10. Восстановление деталей машин [Пантелеев Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М.]; под ред. Иванова В.П. М. : Машиностроение, 2003. 672 с.
11. Проволоцкий, А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. [Текст] / А.Е. Проволоцкий. - Киев: Техника, 1989. - 279 с.
12. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. М. : Колос, 1983. 288 с.
13. Ткачев В.Н. Методы повышения долговечности сельскохозяйственных машин. М. : 1993. 212 с.

14. Поляк, М. С. Технология упрочнения. М. : Машиностроение, Л.В.М.-СКРИПТ, 1995. Т. 2. 688 с.
15. Есенберлин, Р. Е Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М. : Транспорт, 1994. 256 с.
16. Латыпов, Р. А., Булычев В. В., Бурак П. И., Агеев Е. В. Электроконтактная приварка. Теория и практика. К. : 2016. 392 с.
17. Поляченко, А. В. и др. Технологические процессы восстановления деталей контактной приваркой металлического слоя. М. : ГОСНИТИ, 1982. 100 с.
18. Гранкін С.Г., Малахов В.С., Черновол М.І. Надійність сільськогосподарської техніки. К. : Урожай, 1998. 205 с.
19. Черновол М.И., Златопольский Ф.И., Лопата Л.А. Современные материалы для восстановления и упрочнения деталей машин. Кировоград, 1994. 84 с.
20. Тихомиров, Р.А. Гидрорезание неметаллических материалов [Текст] / Р.А. Тихомиров, В.С. Гуенко. - К.: Технжа, 1984. - 150 с.
21. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. Житомир, 2001. 516с.
22. Кравченко, И.Н. Основы надежности машин [Текст]: учебное пособие для вузов/И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин, Г.И. Бондарева. В 2-х частях. М.: Издательство, 2007. 224 с.
23. Ящерицын П.И. и др. Финишная обработка деталей уплотненным потоком свободного абразива / Ящерицын П.И., Мартынов А.Н., Гридин А.Д. - Минск: Наука и техника, 1978. - 224с.
24. Писаренко В.М., Куценко О.М. Екологічні основи раціонального природокористування в аграрному виробництві. К. : НМК ВО, 1992. 231 с.
25. Федоров М.І., Лапенко Т.Г., Дрожжана О.У. Охорона праці в галузі АПК. Полтава : ТОВ «Видавництво інтерграфіка», 2005. 297с.

26. Схиртладзе А.Г. Расчет эффективности восстановления изношенных деталей. *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2004. № 2. С. 2-4.
27. Мазнев Г.Є., Турченко М.М., Щетінін М.Д. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК. Харків: ХДТУСГ, 2001. 401 с.
28. Экономика технического сервиса на предприятиях АПК / Ю.А. Конкин, К.З. Бисултанов, М.Ю. Конкин и др.; под ред. Ю.А. Конкина. – М.: Колос, 2005. – 368 с.