

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технології та засоби механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Дослідження процесу зміцнення ріжучих інструментів імпульсною магнітною обробкою»

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою

Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи ____
Пророк І. Ю.

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Канівець О. В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2022 року

ВСТУП

Розвиток багатьох галузей тісно пов'язаний з інтенсифікацією процесів механічної обробки, що призводить до посилення умов експлуатації ріжучого інструменту та зростання вимог до його працездатності. Швидкорізальні сталі є одними з найпоширеніших матеріалів для виготовлення різноманітних інструментів. Ріжучий інструмент працює в корозійному середовищі з високим навантаженням, що призводить до швидкого затуплення його ріжучих кромки.

Одним із прогресивних методів зміцнення деталей є магнітна обробка. Для підвищення стійкості та надійності роботи магнітну обробку використовують у машинобудуванні для обробки різних деталей, конструкцій та складальних одиниць; заклепувальних, зварних та різьбових з'єднань; зубчастих та черв'ячних передач; опорних пристроїв та муфт; ресор та пружин; сталевих канатів та тросів вантажопідіймальних машин; ріжучого інструменту.

Методи магнітної обробки матеріалів різні як за своїми фізичними і технологічними принципами, так і за виконанням установок.

Магнітно-імпульсна обробка (МІО) є відносно новим та перспективним методом обробки ріжучого інструменту. Ріжучий інструмент обробляють як постійним магнітним полем, так і магнітно-імпульсним полем напруженістю 100-2000 кА/м, при тривалості імпульсу 0,1-4,5 с. Час та величина напруженості магнітного поля залежить від матеріалу інструменту та його розмірів. У результаті стійкість обробленого в магнітному полі інструменту підвищується в 2-4 рази.

При магнітній обробці інструменту з швидкорізальної сталі, підвищується мікротвердість інструменту та знижується поверхневий натяг мастильного матеріалу. При взаємодії поверхонь тертя в поверхневому шарі знижуються напруги розтягу; збільшуються напруги, що утримують мастильний матеріал; зростає дисперсність блоків поверхневого шару металу; підвищується закріплення в приграничному шарі легуючих елементів, таких

як вольфрам, вуглець, молібден; покращується теплопровідність матеріалу; збільшується швидкість відведення теплових потоків при рідинному охолодженні; зростає поляризація органічних компонентів мастильного матеріалу; збільшується адгезія мастильного матеріалу на металевій поверхні та прискорюється відведення теплоти із вузлів тертя [2].

Впровадження магнітної обробки в технологічний процес виготовлення ріжучого інструменту є можливим та доцільним. Низька вартість, висока продуктивність, простота технології магнітної обробки, високий рівень безпеки та економічний ефект дозволяють рекомендувати використання при виготовленні ріжучого інструменту.

Водночас у наукових публікаціях недостатньо інформації про механізми зміцнення МІО та трибологічні ефекти даного виду обробки, що потребує накопичення нового теоретичного та практичного матеріалу в цій галузі.

Наукова новизна:

1. Запропоновано математичну модель підвищення міцності та зносостійкості металу різальних інструментів методом МІО.
2. Розроблено комбінований метод магнітно-імпульсної обробки.

Практична значимість:

1. Розроблено рекомендації щодо застосування технології зміцнення МІО ріжучого інструменту зі швидкорізальної сталі.
2. Виконано модернізацію установки МІО для забезпечення застосування методу комбінованої обробки.

Методи дослідження. Завдання вирішувалися за допомогою теоретичних та експериментальних методів. Методичною та теоретичною основою роботи з'явилися праці з техніки та технології зміцнення МІО, технології машинобудування, фізики твердого тіла, магнетизму, теорії різання, ріжучого інструменту. Вимірювання параметрів різання, зношування інструменту, інтенсивності магнітного поля проводилися відповідно до стандартних методик. Для обробки та аналізу експериментальних даних застосовували комп'ютерні статистичні програми.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні типи свердл та сфера їх використання

Інструмент під час роботи зношується. Зношування є показником працездатності, а саме його критичне значення, після досягнення якого настає швидке руйнування ріжучого інструменту. Свердла зношуються по задній поверхні, по стрічці, по кутах ріжучих кромek, по перемичці (допоміжній ріжучій кромці).

У даний час існує безліч різних способів обробки отворів залежно від необхідної конструкції, точності і шорсткості обробленої поверхні: від простого свердління до найскладнішого технологічного процесу, що включає кілька операцій, що виконуються різними інструментами і на різному обладнанні. Основні типи свердл та область їх використання [1] наведено в таблиці 1.1.

Для отримання більш точних отворів та якісної їх поверхні застосовують свердла підвищеної жорсткості з напрямними стрічками на кожній ріжучій кромці (чотиристрічкові свердла).

При експлуатації багатошпиндельного та автоматизованого обладнання довга зливна стружка закриває доступ охолодної рідини до ріжучих кромek, перешкоджаючи відводу теплоти, що спричиняє спікання та налипання стружки. Для забезпечення нормальної роботи в свердлах передбачають стружкоробні елементи. У практиці використовують свердла з підведенням у зону різання охолоджуючої рідини, що сприяє примусовому видаленню подрібненої стружки. Свердла, що використовуються на автоматичних лініях та агрегатних верстатах, виготовляють з подовженими циліндричними хвостовиками, укороченою удвічі робочою частиною та серцевиною збільшеної товщини.

Таблиця 1.1 – Основні типи свердл

Типи свердл	Використання
Свердла центрувальні комбіновані	Свердління центрувальних отворів та надсвердління.
Свердла перові	Свердління отворів у поковках та виливках із твердих матеріалів, коли потрібна підвищена жорсткість інструменту. Свердління неглибоких отворів на револьверних верстатах та автоматах.
Свердла пластинчасті	Свердління отворів на токарних свердлильних, револьверних та розточувальних верстатах.
Свердла спіральні	Свердління та розсвердлювання отворів різних глибини та конфігурацій у деталях з різних матеріалів.
Свердла для глибокого свердління	Суцільне та кільцеве свердління, для якого характерне примусове видалення стружки із зони різання та обертання заготовки у процесі свердління.
Свердла кільцеві	Свердління отворів у тонкостінних деталях.
Свердла комбіновані	Виконує декілька суміщених операцій, свердління отворів на агрегатних верстатах та автоматичних лініях.

Усім відомі спіральні свердла були розроблені ще в середині XIX століття. Тоді вони робилися ще зі звичайної конструкційної легованої сталі. Йшов час, було відкрито різні матеріали, які вже неможливо було обробити такими свердлами. Тоді, на початку минулого століття, спіральні свердла стали виготовляти із швидкорізальної сталі, яка й досі використовується для виготовлення даного інструменту.

Спіральні свердла виготовлені з твердого сплаву, які використовуються нарівні з швидкорізальними на будь-якому машинобудівному підприємстві. При цьому як економічна альтернатива була запропонована конструкція спірального свердла, ріжучі кромки якого були виготовлені із твердого сплаву, а хвостовик був зроблений зі звичайної конструкційної сталі. Також було

запропоновано свердла, що обладнані змінними багатограними пластинами (ЗБП).

Матеріали, з яких виготовляють свердла, поділяються на два типи:

- швидкорізальні сталі;
- тверді сплави.

Основним легуючим елементом швидкорізальних сталей є вольфрам. Наприклад, у швидкорізальній сталі P18 вміст його близько 18%. Згідно з довідковою літературою, найбільш застосовувана швидкорізальна сталь Р6М5. Вона застосовується для обробки вуглецевих та середньолегованих конструкційних сталей зі звичайними швидкостями різання. Застосовуються також інші марки швидкорізальної сталі, це: Р9, Р6М3, 10Р6М5, Р18Ф2 та інші.

На рисунку 1.1 показана геометрія робочої частини свердла з нормальною заточкою зі швидкорізальної сталі.

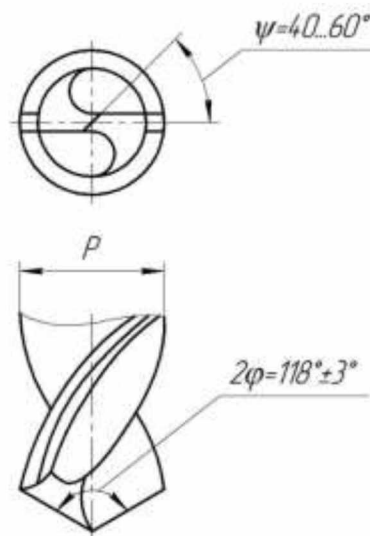


Рисунок 1.1 – Геометрія робочої частини свердла з нормальним заточенням зі швидкорізальної сталі

Для виготовлення свердл використовується твердий сплав. Найбільш широко застосовуються пластини з твердого сплаву, які напаяються на робочі частини інструменту, але мають місце і свердла цілком виготовлені з нього. Якщо розглядати варіант свердління неглибоких отворів у суцільному матеріалі, то рекомендованими марками будуть: Т15К10, Т15К12-В, ВК8 та

ВК8-В. Такі свердла застосовують для свердління отворів у вуглецевих та легованих сталях, а також у важкооброблюваних матеріалах та корозійностійких сталях. Для свердління чавуну рекомендується використовувати марку ВК8.

На рисунку 1.2 показана геометрія робочої частини свердла з напаяними пластинами або коронками із твердого сплаву

Дрібнорозмірні твердосплавні свердла діаметрами 2...6 мм виготовляють цільними твердосплавними або складовими, коли хвостовик виготовляється із сталі, а робоча частина – із твердого сплаву. Свердла діаметрами 10...30 мм обладнані напаяними пластинами або коронками із твердого сплаву.

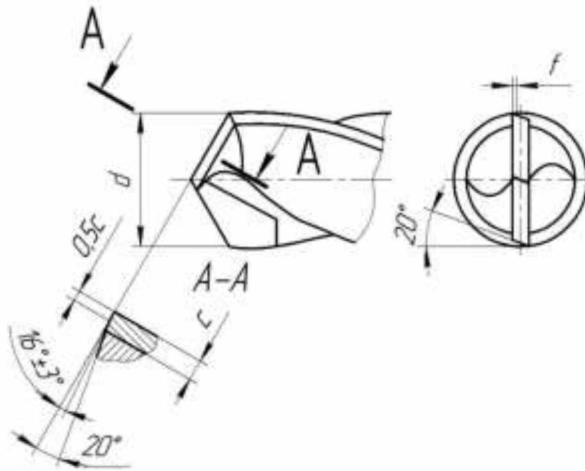


Рисунок 1.2 – Геометрія робочої частини свердла з напаяними пластинами або коронками із твердого сплаву

Ріжучі інструменти, свердла, із швидкорізальної сталі виготовляють за допомогою пластичної деформації, а саме накатки канавок та скручування.

Твердий сплав відноситься до порошкових матеріалів і виробництво ріжучого інструменту зводиться до спікання компонентів (карбид вольфраму, карбідів титану, карбідів танталу, кобальту) у формі під тиском. Кобальт є зв'язкою.

Незважаючи на те, що використання твердих сплавів забезпечує дво-, чотириразове підвищення продуктивності, питома вага твердосплавних

свердлів у загальному обсязі їх застосування становить не більше 10%. Це пояснюється несприятливими умовами роботи твердих сплавів під час свердління: нежорстким (консольним) кріпленням свердлів; великими осьовими навантаженнями; змінною величиною швидкості різання, що зменшується до нуля на поперечній ріжучій кромці; великою шириною стружки, що зрізається; небезпекою появи вібрацій та пакетування стружки у канавках свердла; малими числами оборотів та недостатніми потужністю, жорсткістю та точністю свердлильних верстатів.

1.2 Аналіз способів і технологій зміцнювальної обробки для підвищення працездатності ріжучих інструментів

Відомо багато традиційних способів зміцнення ріжучих інструментів. До них відносяться методи поверхневого загартовування, різні хімікотермічні способи обробки (цементация, азотування, борування), наплавлення, гальванічні способи та інші. Можливості даних методів значною мірою вичерпані [2-3].

Останнім часом інтенсивно розширюється використання нових технологій зміцнення деталей, що базуються дією на поверхню концентрованих потоків високоенергетичних частинок – електронів, іонів, атомів, молекул. До них відносяться лазерні, електронно-променеві (пучкові), вакуумні, іонно-плазмові та інші технології [4-15]. У зв'язку з розвитком плазмових та детонаційних технологій напилення різними порошковими матеріалами, значний імпульс отримали використання газо-термічних методів нанесення покриття [16-17].

Одним із прогресивних методів зміцнення деталей є магнітна обробка [16]. Електромагнітне поле успішно використовують у сучасній техніці та технології для керування властивостями твердого тіла. Для збільшення стійкості та надійності роботи магнітну обробку використовують для обробки ріжучих інструментів та динамічно навантажених деталей машин. Невелика

вартість та висока продуктивність пристроїв та сучасних установок, а також простота технології магнітної обробки дозволяють рекомендувати її для різних галузей промисловості.

Методи магнітної обробки матеріалів різноманітні як за своїми фізичними і технологічними принципами, так і за конструктивним виконанням установок. Магнітну та магнітно-імпульсну обробку використовують для зміцнення різних деталей, конструкцій та складальних одиниць, наприклад, заклепувальних, зварних, різьбових з'єднань; зубчастих та черв'ячних передач; опорних пристроїв та муфт; ресор та пружин; сталевих канатів та тросів вантажопідіймальних машин; пилясті гарнітури чесальних машин, ріжучого інструменту і т. д.

У роботах [17] наведено відомості впливу режимів імпульсної магнітної обробки на зносостійкість медичного інструменту. На основі застосування сучасних методик та комп'ютерних програм 3D моделювання отримано імітаційні моделі ріжучої кромки тонколезового інструменту. При підключенні в цю модель даних експериментального дослідження зношування отримані динамічні моделі, що імітують процес зношування інструменту, зміцненого та неукріпленого імпульсною магнітною обробкою. Виявлено механізм зношування ріжучих кромки медичних інструментів. Встановлено зміну фізико-механічних та експлуатаційних властивостей під дією магнітного поля, зокрема, виявлено збільшення мікротвердості поверхневого шару ріжучої частини інструменту та підвищення корозійної стійкості.

Пильчаста гарнітура чесальних машин [19] оброблялася імпульсною магнітною обробкою безпосередньо на автоматичних лініях виробництва пильчастої стрічки. У роботах наведено дані про математичну модель розрахунку параметрів магнітного поля в зоні вершини зуба пильчастої стрічки, залежності величини щільності магнітної енергії від напрямку магнітного поля щодо осі зуба та заповнення простору між зубами повітрям або феромагнітним порошком. Розкрито фізичну сутність та виявлено механізм зміцнення імпульсною магнітною обробкою. Імпульсна магнітна

обробка спричиняє закономірні зміни структури та фізичних властивостей, що зумовлені утворенням нової субзеренної структури, зниженням граничної енергії та перерозподілом дислокацій як усередині зерен, так і на їх межах.

Симетричні деталі машин (вали, осі, підшипники, штоки) діаметром менше діаметра внутрішньої порожнини соленоїда (індуктора) [18] обробляють безпосередньо в цій порожнині напруженістю 200-800 кА/м при тривалості імпульсу 0,3-1,0 с, а діаметром більше діаметра соленоїда локально напруженістю поля 600-1000 кА/м та тривалістю імпульсу 0,6-1,0 с. Випробування таких деталей показали, що магнітно-імпульсна обробка підвищує довговічність вузла на 50%.

У роботі [20] наводяться відомості про обробку магнітно-імпульсним полем зубчастих коліс та шестерень. Обробка проводилася за трьома схемами: при вільному переміщенні коліс у порожнині соленоїда, локальної обробки коліс за контуром, профільної обробки коліс великого діаметра. Сталеві колеса оброблялися при напруженості поля 300-650 кА/м та імпульсі 0,2-0,6 с, та якщо з сплавів міді та титану - 800-1500 кА/м та імпульсі 0,5-1,0 с. Досліди показали, що магнітно-імпульсна обробка підвищує стійкість зубчастих коліс у 1,2-2 рази.

Крупногабаритні деталі із сірого, ковкого та високоміцного чавуну, конструкційних та легованих сталей [21] обробляють локально по всій робочій поверхні контакту у шаховому порядку за 2-10 циклів. Досліди показують, що завдяки імпульсній магнітній обробці покращуються властивості матеріалів деталей, що працюють у вузлах тертя, знижується зношування.

Сталеві троси, канати та інші металеві тягові деталі [22] обробляють у порожнині соленоїда при рівномірному переміщенні вздовж осі соленоїда. Випробування канатів показали, що обробка імпульсним магнітним полем підвищує їхню довговічність у 1,5-2 рази.

У роботі [23] наводяться відомості про магнітно-імпульсну обробку різьбових кріпильних деталей (болтів, шпильок, гайок) зі сталей та сплавів кольорових металів. Режими обробки: напруженість 400-1000 кА/м,

тривалість імпульсів 0,2... 10 с. Випробування різьбових з'єднань показали, що ударна в'язкість матеріалу кріпильних виробів підвищується на 15%, а знос різблення зменшувався на 30 %.

Якість ресор та пружин часто визначає працездатність машин та механізмів у складних динамічних умовах [23]. Проводилася магнітно-імпульсна обробка ресор та пружин напруженістю 500-1000 кА/м та імпульсом 0,5... 1,0 с, число циклів 2... 10, інтервал між циклами 3... 5 хв.

Результати випробувань показали, що багаторазова магнітно-імпульсна обробка підвищує довговічність ресор та пружин у 1,3... 2 рази.

Магнітну обробку використовують для обробки різних деталей, конструкцій та складальних одиниць; заклепувальних, зварних та різьбових з'єднань; зубчастих та черв'ячних передач; опорних пристроїв та муфт; ресор та пружин; сталевих канатів та тросів вантажопідіймальних машин; пилясті гарнітури чесальних машин, ріжучого інструменту для підвищення їх стійкості та надійності роботи.

Незначна вартість та висока продуктивність пристроїв та сучасних установок, а також простота технології магнітної обробки, дозволяють рекомендувати її для зміцнення ріжучого інструменту.

1.3 Особливості обробки ріжучих інструментів імпульсним магнітним полем

Методи магнітної обробки матеріалів, що застосовуються на практиці, різні як за своїми фізичними і технологічними принципами, так і за конструктивним виконанням установок. Методи магнітної обробки деталей машин класифікують так [18]:

- обробка одним імпульсом постійного магнітного поля напруженістю 100+1000 кА/м за різної тривалості впливу (10... 300 с);
- обробка магнітно-імпульсним полем напруженістю 100... 2000 кА/м при тривалості імпульсу 0,1... 10 с та різною кількістю імпульсів.

Ріжучий інструмент [9] обробляють як постійним магнітним полем, так і магнітно-імпульсним полем напруженістю 100-2000 кА/м, при тривалості імпульсу 0,1...4,5 с. Час та величина напруженості магнітного поля залежить від матеріалу інструменту та його розмірів. У цьому стійкість інструменту, обробленого магнітним полем, підвищується в 2...4 рази.

У роботі Ю.А. Бородіна, В.А. Курбатова та В.М. Ткачук [4] є дані про різну інтенсивність зносу інструменту при стійких випробуваннях з північною або південною полярністю ріжучих кромок. Проведені вимірювання мікротвердості на сталі Р6М5 після намагнічування, що її розподіл практично однаковий по всій довжині зразків. Дана обставина підкреслює той факт, що запропонована вище модель впливу намагніченості на дислокаційну структуру носить однаковий характер у всьому обсязі зразка, а розбіжності, що спостерігаються в роботі, в інтенсивності зносу на протилежних полюсах ріжучих кромок інструменту є або наслідком термогальванічних ефектів при різанні, які за оцінкою ряду дослідників Дещо неоднаково виявляються на полюсах, або простим для процесу різання розкидом даних про стійкість.

Виконані М.Г. Галей [5] вимірювання межі міцності при згині та ударної в'язкості зразків швидкорізальних сталей Р18, Р6М5, Р9К5 і Р6М5К5 після намагнічування показали відсутність значних відмінностей із властивостями ненамагнічених зразків. Він зазначав що, з одного боку, збільшення кількості дефектів у сталі підвищує ймовірність актів впливу намагніченості на дислокаційну структуру, а з іншого боку, зменшує можливість зміни конфігурацій дислокаційних петель через їх сильне закріплення, то визначити ефективність намагнічування швидкорізальних сталей з високою точністю свідомо неможливо. Невизначеність посилюється через гетерогенність структури та сильний вплив стану поверхні після фінішних операцій обробки сталей. Все це разом узятє не дозволяє керувати процесом намагнічування з метою отримання стійких змін властивостей швидкорізальних сталей. Важливим для нього було питання про зміну стійкості інструменту після намагнічування взагалі і, зокрема, через певні проміжки часу з цього моменту.

Для знаходження залежності $T=f(\tau)$, де τ - час, що минув після намагнічування інструменту, проводили стійкісні випробування свердл діаметром 6 мм із сталі Р6М5 на основі повного факторного експерименту типу 2. Свердління отворів проводили у відпалених заготовках із сталей 7Х3, У8А, 12ХН3А, 45, 20, Ст3. Глибина свердління складала 20 мм з урахуванням врізування. Випробовували свердла з відомим базовим значенням стійкості до намагнічування та мінімальним відхиленням від її середнього значення в партії випробуваних свердлів. Після базових випробувань проводили перезаточення інструменту та намагнічування з поворотом свердла навколо своєї осі протягом 2 хв. Напруженість магнітного поля становила 1,6 МА/м. За критерій затуплення приймалося поява характерного скрипу під час свердління.

Безпосередній взаємозв'язок між зміною мікротвердості інструментального матеріалу і стійкістю до та після намагнічування вивчали при точінні сталі 20 прохідними різцями зі сталі Р18. Обробляли прутки діаметром 20 мм, глибина різання становила 1 мм, подача 0,1 мм/об, швидкість різання має три рівні: 39,58 м/хв, 22,83 м/хв і 78,53 м/хв. Мікротвердість вимірювали на початку роботи та через кожні 5 хв. У ті ж проміжки часу вимірювали зношування різців по задній поверхні. Проведені випробування показали, що зі збільшенням швидкості різання зростає інтенсивність зносу та зниження мікротвердості за одні й ті самі проміжки часу.

При оптимальній швидкості різання 62,83 м/хв мікротвердість намагніченого різця вже через 5 хв падала до вихідного рівня. Це означає, що робота на оптимальних режимах різання призводить до дуже швидкої релаксації ефектів від намагнічування, що, мабуть, пов'язано з підвищенням температури в зоні різання, відновленням вихідної доменної структури та дислокаційних конфігурацій внаслідок розсмоктування домішкових атмосфер та збільшення рухливості дислокацій, отримані результати показують, що намагнічування інструменту не може розглядатися як практично застосовний метод зміцнення, оскільки, по-перше, ефекти, що розглядаються, дуже малі, повністю оборотні, а по-друге, якщо і проявляються в перший час після

намагнічування, то не для всіх сталей і за економічно недоцільних режимах різання.

Найбільш ґрунтовною працею є робота Б.В. Малигіна [18]. У його роботі особлива увага приділяється найважливішим факторам та явищам при обробці магнітним полем. У ході експериментів він вивів для інструменту з швидкорізальних сталей, а також для деталей з конструкційних та легованих сталей тривалість одного циклу магнітної обробки не перевищує 1,0-5,0 с. При цьому в магнітному полі середньої напруженості за період імпульсу 0,5-1,0 циліндричний інструмент (або деталь) піддається «гвинтовому стиску». Виникаючі електродинамічні сили частково ущільнюють кристаліти металу, унаслідок чого знижуються концентрації напруг.

За інших рівних умов відносно подовження намагнічених зразків зі швидкорізальної сталі знижувалося у 2...2,5 рази. Фазові перетворення стали за рахунок МІО прискорювалися на 15...22%, що підтверджувалося зменшенням у зразках надлишкової енергії (площа S_1 енергетичної петлі без МІО більше приблизно на 20 % площі S_2 аналогічної петлі, отриманої на цих же зразках сталі, але при МІО). При МІО сталі зменшується надлишкова енергія, знижується концентрація напруг, унаслідок чого поліпшуються механічні властивості. Намагнічені зразки мають менше подовження також при термодинамічних релаксаціях.

Його дослідження показали, що при імпульсному намагнічуванні лезового інструменту з швидкорізальних сталей Р18, Р12, Р6М5 при свердлінні конструкційних сталей коефіцієнт тертя інструменту зменшується в 1,5-2 рази. При магнітній обробці інструменту з швидкорізальної сталі, підвищується мікротвердість інструменту та знижується поверхневий натяг мастильного матеріалу. При взаємодії тертьових поверхонь в поверхневому шарі знижуються розтягувальні напруги, збільшуються утримують мастильний матеріал напруги, зростає дисперсність блоків мозаїки поверхневого шару металу, підвищується закріплення в прикордонному шарі легуючих елементів, таких, наприклад, як вольфрам, вуглець, молібден, ван. підвищується

теплопровідність матеріалу, збільшується швидкість відведення теплових потоків при рідинному охолодженні, зростає поляризація органічних компонентів мастильного матеріалу, збільшується адгезія мастильного матеріалу на металевій поверхні та прискорюється відведення теплоти з вузлів тертя. Б.В. Малигін вивчав стан мікротріщин на поверхні колінчастого валу двигуна автомобіля ЗІЛ-130.

У праці М.Л. Бернштейна та В.М. Пустовойт [14] при описі дослідів вказується що інструмент (свердло) при обробці магнітним імпульсним полем знаходився в нерухомому стані, а після проведених дослідів витримувався певну кількість часу на металевих стелажах. М.Л. Бернштейн та В.М. Пустовойт у своїй роботі приділяли особливу увагу виміру електропровідності свердлів, вважаючи, що її зміна показує якісні внутрішні перетворення, що відбуваються в інструменті після МІО.

Аналіз особливостей обробки ріжучих інструментів імпульсним магнітним полем показав:

1. При магнітній обробці інструменту зі швидкорізальної сталі, підвищується мікротвердість інструменту та знижується поверхневий натяг мастильного матеріалу. При взаємодії поверхонь, що труться, в поверхневому шарі знижуються розтягувальні напруги, збільшуються утримують мастильний матеріал напруги, зростає дисперсність блоків мозаїки поверхневого шару металу, підвищується закріплення в прикордонному шарі легуючих елементів, таких, наприклад, як вольфрам, вуглець, молібден, ван. підвищується теплопровідність матеріалу, збільшується швидкість відведення теплових потоків при рідинному охолодженні, зростає поляризація органічних компонентів мастильного матеріалу, збільшується адгезія мастильного матеріалу на металевій поверхні та прискорюється відведення теплоти з вузлів тертя.

2. Методика зміцнення магнітно-імпульсним полем ріжучих інструментів включає:

- обробка магнітно-імпульсним полем проводилася напруженістю 100-2000 кА/м при тривалості імпульсу 0,1-10 з різною кількістю імпульсів;
- зміцнення ріжучих інструментів здійснювалося або з північною або південною полярністю ріжучих кромek;
- досліджувалося відносне подовження намагнічених зразків із швидкорізальної сталі та електропровідність свердлів;
- інструмент (свердло) при обробці магнітним імпульсним полем здійснював коливальні рухи;
- свердління отворів на прохід виробляли в заготовках із сталей 7ХЗ, У8А, 12ХНЗА, 45, 20, Ст3. Глибина свердління складала 20 мм з урахуванням врізування. За критерій затуплення свердлів приймалося поява характерного скрипу при свердлінні.

Однак у наукових працях, що досліджують умови зміцнення та характер структурних змін у матеріалах ріжучих інструментів під впливом магнітного поля, відсутні дані про характер (етапи) руйнування кромek різальних інструментів при різанні металів.

1.4 Характер структурних змін у металах під впливом магнітного поля

Досліди, що започаткували дослідження в галузі обробки в магнітному полі, вперше провів у 20-х роках С.Є. Герберт (Німеччина) [19]. Він виявив ефект підвищення твердості в результаті тривалого старіння при 100°C в магнітному полі наклепаних або заклепаних зразків із швидкорізальної, вуглецевої та низьколегованої сталі з 0,7-0,8% вуглецю. С.Є. Герберт повідомляв також про прискорення процесів природного старіння дуралюмінію та відпалу на кування чавуну при дії зовнішнього магнітного поля. Ідею С.Є. Герберта розвивав А.В. Алексєєв у своїх дослідках з магнітної обробки інструменту зі швидкорізальної сталі. Намагнічування проводилося після загартування, а також після загартування та одно-триразової відпустки

при 560°C, в результаті чого досягалися приріст твердості до 67 HRC і збільшення у 6 разів корозійної стійкості сталі.

Наявні гіпотези, що пояснюють ефекти підвищення стійкості намагніченого інструменту з швидкорізальних сталей, наведені у роботах [6-7], а також Г.І. Якуніна та Н.Г. Молчанова [8], не можуть знайти підтвердження з позицій сучасних уявлень фізики металів. До них відносяться припущення про можливість розпаду частини залишкового аустеніту при намагнічуванні зовнішнім полем, про зміну теплового балансу на кордоні інструмент, оброблюваний матеріал та деякі інші. Слід зазначити, що у більшості цих досліджень розглядаються процеси намагнічування на полях, близьких до полів насичення напруженістю від 8 до 80 кА/м. Однак поля такої напруженості далеко не завжди можуть викликати незворотні зміни у феромагнетиках з великою щільністю структурних дефектів. У деяких випадках взаємодія дислокацій з міждоменними кордонами виявляється настільки сильною, що виключає можливість руху цих кордонів навіть під дією зовнішнього магнітного поля, близького до того, що насичується. Застосування на практиці апаратури отримання сильних полів, значно вище насичуючих, нині перестав бути проблемою. Наведено дані, що показують можливість процесу намагнічування ріжучого інструменту постійному магнітному полі напруженістю до 2 МА/м.

Автор роботи [6] зробив висновок, що вплив сильного магнітного поля може призводити до змін у структурі металу інструменту. При цьому, якщо швидкорізальна сталь спочатку піддавалася триразовій відпустці, вміст аустеніту в ній зведено до мінімуму, то подальша магнітна обробка майже не впливає на ріжучі властивості металу,

Якщо інструмент був заточений і на його робочій поверхні утворився вдруге загартований шар з великим вмістом (40-80%) залишкового аустеніту. Така система дуже чутлива до впливу магнітного поля при повідомленні їй енергії активації, необхідної для γ а перетворення.

Магнітна обробка інструментальної сталі впливає на її стійкість за рахунок зміни температури в зоні різання. Основною причиною зміни температури є ефект Річі-Ледюка, який сприймається як поворот теплового потоку під дією магнітного поля у бік щодо напрямку градієнта температури за умови відсутності магнітного поля.

У системі, що у рівновазі при вплив магнітним полем, виникає нова фаза. У зв'язку з цим вказується, що перехід неферомагнітної фази (аустеніт) у феромагнітну (мартенсит) з намагніченістю, близькою до насичення, можливий через проміжну бездоменну фазу, а вплив зовнішнього магнітного поля має ініціювати перехід феромагнетика з бездомного до більш магнітного стану з домівкою. Шляхом тонких змін намагніченості показано, що при мартенситному перетворенні в сплаві H15 інтенсивне зростання кристалів α -фази починається при температурі нижче 225°C , тоді як при температурі 280°C фіксується поява фази, по намагніченості відмінної від аустеніта.

У деяких роботах з'явилися дослідження та спостереження про «магнітне розшарування» аустеніту у зв'язку з утворенням у парамагнітній матриці флуктуації (роїв, спинів та кластерів) намагніченості з ближнім феромагнітним порядком. Магнітний стан аустеніту хромонікелевих сталей неоднорідний, тому що за певних умов у парамагнітній матриці виникають феромагнітні кластери, що повідомляють їй супермагнітні властивості. Ефект мартенситного перетворення під дією імпульсного магнітного поля виявляється тим більшим, чим сильніше була виражена магнітна гетерогенність аустеніту. Феромагнітні кластери в аустеніті можуть бути місцями переважного зародження мартенситу.

Більшу однорідність структурі надає безліч дрібних карбідів, що виділяються з основної фази, яка стає метастабільною в процесі стрикційного зміцнення, спричиненого ударними хвилями. Під дією локальних напруг може відбуватися сегрегація домішкових атомів, і насамперед атомів вуглецю на межі зерен та дислокації. Виникає можливість флуктуації концентрації

вуглецю вздовж дислокації, що призводить до зародження дисперсних частинок карбідної фази. Відбувається дисперсійне твердіння.

Автор [7] підтверджує гіпотезу [14] про те, що головною особливістю феромагнітного стану вважає наявність доменної структури. Стійкість доменної структури за інших рівних умов визначається взаємодією міждоменних структур з дислокаціями, яка обумовлена інтерференцією пружних полів дислокації та магнітострикційних деформацій. Від щільності дислокації залежать розміри та кількість доменів. Збільшення густини дефектів призводить до зародження нових доменів менших розмірів. Після магнітної обробки відбувається зміщення міждоменних границь, змінюються магнітострикційні напруги за рахунок розорієнтації намагніченості (спінових магнітних моментів) всередині міждоменних границь. В результаті не виключено рух дислокації в полі магнітопружних напруг, що виникають у доменного кордону. Можливість цих процесів визначається низкою факторів, насамперед рівнем діючих напруг, ступенем та характером закріплення рухомих ділянок дислокації, взаємної орієнтації доменного кордону та дислокації. При цьому межі доменів збільшуються за рахунок об'єднання дрібніших доменів та дислокації, кількість яких істотно менша після зняття магнітного поля.

Аналіз існуючих гіпотез, що пояснюють характер структурних змін у металах під впливом магнітного поля, показав:

- наявні гіпотези, що пояснюють ефекти підвищення стійкості намагніченого інструменту з швидкорізальних сталей, що неспроможні знайти підтвердження з позицій сучасних уявлень фізики металів. До них відносяться припущення про можливість розпаду частини залишкового аустеніту при намагнічуванні зовнішнім полем, про зміну теплового балансу на кордоні інструмент, оброблюваний матеріал та деякі інші. Слід зазначити, що у більшості цих досліджень розглядаються процеси намагнічування на полях, близьких до полів насичення напруженістю від 8 до 80 кА/м. Однак поля такої напруженості далеко не завжди можуть викликати незворотні зміни у

ферромагнетиках з великою щільністю структурних дефектів. У деяких випадках взаємодія дислокацій з міждоменними кордонами виявляється настільки сильною,

- іншою гіпотезою, що пояснює феромагнітний стан є наявність доменної структури. Воно визначається взаємодією міждоменних кордонів з дислокаціями, що обумовлено інтерференцією пружних полів дислокацій та магнітострикційних деформацій. Від щільності дислокацій залежать розміри та кількість доменів. Особливо висока щільність доменів на межах зерен, міжфазових межах і на поверхні, де переважають замикаючі домени з 90-градусними кордонами, розміри яких значно менші за домени з 180-градусними кордонами. При високій концентрації доменів малих розмірів утворюється розвинена сітка міждоменних кордонів, де зосереджується пружна енергія магнітострикції. Таке поєднання підвищеної кількості дефектів структури та доменів малих розмірів характерно для швидкорізальних сталей після звичайної термічної обробки,

- згідно з іншою гіпотезою, магнітна обробка інструментальної сталі значно впливає на її стійкість за рахунок зміни температури в зоні різання. Основною причиною зміни температури є ефект Річі-Ледюка, який сприймається як поворот теплового потоку під дією магнітного поля у бік щодо напрямку градієнта температури за умови відсутності магнітного поля;

- інші вчені вважають, що збільшення стійкості магнітно обробленого інструменту відбувається в результаті магнітно-стрикційного зміцнення та магнітно-дисперсійного твердіння швидкорізальної сталі. Суть цієї теорії полягає в наступному: у ненамагніченому стані феромагнітна матриця сталі поділені на безліч доменів. При зміщенні міждоменних кордонів та обертанні спонтанної намагніченості під дією зовнішнього поля змінюються напрямки спінових моментів електронів, що супроводжується магнітно-стрикційною деформацією та, відповідно до закону Гука, пружними напруженнями. Взаємодія пружного поля, обумовленого магнітострикцією сталі, з пружним полем реальної дислокаційної структури призводить до появи локальних перенапруг.

Саме тут найбільш інтенсивно йдуть процеси розмноження та переміщення дислокації;

- згідно з іншою гіпотезою імпульсна магнітна обробка являє собою комплексний вплив на матеріал магнітострикційних процесів і механічних деформацій, теплових та електромагнітних вихрових потоків, локалізованих у місцях концентрацій магнітного потоку, а також систему процесів, спрямовано орієнтуючих «спін-характеристики» контакту зерен (перевантаженої ділянки кристаліту). Суть цієї теорії полягає в наступному: при переміщенні деталі в порожнині соленоїда внаслідок неоднорідної кристалічної структури в ній виникають вихрові струми, що зумовлюють магнітне поле та локальні мікрОВихори. Вони, у свою чергу, нагрівають ділянки навколо кристалітів напружених блоків та неоднорідностей структури металу. Градієнт теплового потоку при магнітно-імпульсній обробці тим вищий, що менш однорідна мікроструктура металу. У місцях концентрації залишкової або втомної напруги, пов'язаних з технологією виробництва обробки або експлуатації деталі, теплота, наведена при магнітно-імпульсній обробці вихровими струмами, частково зменшує надмірну енергію складових кристалітів і зерен структури зразка особливо в зоні контакту напружених ділянок.

Висновки

1. Розглянуто класифікацію різальних інструментів (свердел), в результаті якої було виділено основні типи сверدل з метою їх можливого зміцнення на імпульсній магнітній установці.

2. Недостатньо повно вивчений механізм підвищення міцності та зносостійкості металу ріжучих інструментів методом МІО.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Розробка імпульсної магнітної установки

Для зміцнення ріжучих інструментів було модернізовано та виготовлено імпульсну магнітну установку, яка складається із наступних елементів:

1. Передній блок керування. Узгоджує керуючий сигнал заднього блоку керування. Подає сигнал керування драйвером тиристорів для їх запалювання. Блок містить електронний ключ, який відповідає за проходження сигналу для запалювання тиристорів. Якщо ключ замкнутий, на тиристори надходить сигнал, якщо розімкнено – сигнал відсутній. Для керування ключем інвертора використовується постійна напруга, яка отримана за рахунок випрямлячів, що надходить на перший елемент управління. Сигнал із заднього блоку надходить на другий керуючий елемент. Ці два сигнали керують ключем інвертора. Постійна напруга з інвертора перетворюється за рахунок діодного моста-інвертора.

2. Датчик фази. Призначений для індикації навантаження на фазах за рахунок світлових діодів. Блок дозволяє визначити причину несправності того чи іншого блоку.

3. Задній блок керування використовує мікросхеми, які дозволяють змінювати тривалість імпульсів (t , с) та кількість імпульсів пакеті (N). Блок має зовнішні органи керування пристроєм такі як, кнопка (ключ) та індикатор (світловий діод) активності роботи.

4. Драйвер. Узгоджує роботу заднього та переднього блоків для керування тиристорами. Містить блок високої частоти (ВЧ) захисту та блок запалювання.

На рисунку 2.1 показано фотографію розробленої установки.



а



б

Рисунок 2.1 – Імпульсна магнітна установка:

а – зовнішній вид установки; б – індуктор (солєноїд)

Дана установка (рисунок 2.1) здатна працювати з солєноїдами, для яких амплітуда струму не перевищує 150 А при напрузі мережі – 380В.

2.2 Розробка магнітного індуктора

Розроблений магнітний індуктор є солєноїдом з циліндричною робочою порожниною. Даний тип солєноїда був обраний через особливості геометрії ріжучих інструментів (свердл) та простоти технології виготовлення.

На рисунку 2.2 наведено розріз обмотки в площині осі симетрії.

При постійній щільності струму напруженість магнітного поля в центрі солєноїда становить:

$$H_0 = \frac{2\pi \cdot j \cdot \lambda}{10} \int_{y_1}^{y_2} \int_{-z_1}^{z_1} \frac{y^2 dz dy}{(z^2 + y^2)^{3/2}} = \frac{4\pi \cdot j \cdot \lambda}{10} x_1 \ln \frac{y_2 + (z_1^2 + y_2^2)^{1/2}}{y_1 + (z_1^2 + y_1^2)^{1/2}}, \quad (2.1)$$

де y_1 та y_2 – відповідно внутрішній та зовнішній радіуси солєноїда; $2z_1$ – довжина солєноїда; j – щільність струму.

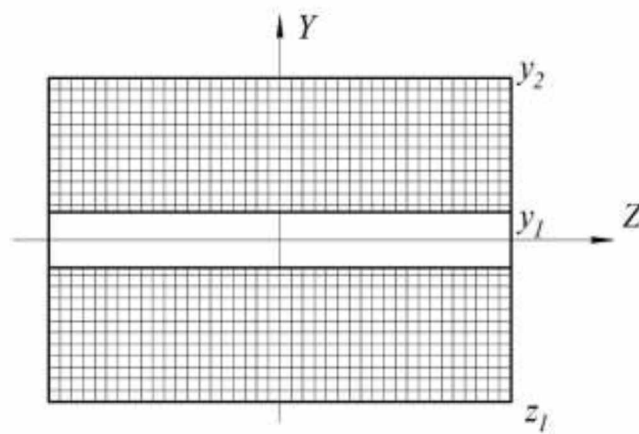


Рисунок 2.2 – Розріз обмотки соленоїда індуктора вздовж осі Z

Обробка імпульсним магнітним полем може здійснюватися як із використанням повітряного простору всередині соленоїда, так і із застосуванням феромагнетика (порошку або рідини).

Вище розглянуті рівняння і формули не дозволяють в цілому оцінити картину магнітного поля всередині соленоїда, але в даний час з розвитком ПК з'являється можливість за допомогою автоматизованих систем вирішити цю проблему. Однією з таких систем є програмне середовище, яке є системою кінцево-елементного дослідження магнітних полів. Ця система дозволяє проводити дослідження магнітних полів різних електротехнічних пристроїв. Розрахунок магнітних полів здійснюється із застосуванням методу кінцевих елементів. Цей метод дозволяє проводити розрахунок магнітного поля у складних неоднорідних та нелінійних середовищах.

Програма може бути використана при вирішенні плоско-паралельних або плоско-меридіанних задач розрахунку магнітного поля при заданій геометрії розрахункової області, яка може містити до 4 різних сталей, 4 марок постійних магнітів, 10 струмових підобластей з різними щільностями струму, 4-х немагнітні середовища, а також магнітні рідини.

Завдання вирішується з урахуванням граничних умов Діріхле-Неймана та умови періодичності. Для вивчення магнітного поля розглядається соленоїд, що має наступні характеристики:

- внутрішній діаметр $d_1 = 10$ мм;

- зовнішній діаметр $d_2 = 100$ мм;
- число витків в обмотці $\eta = 2300$;
- величина струму в обмотці $i = 47$ А.

Першим етапом дослідження є формування моделі розрахункової галузі у реальному масштабі. Робота проводиться в інтерактивному режимі. В результаті формується модель, що є перерізом соленоїда в поздовжньому напрямку оточене контуром, розмірами 150x100 мм.

Наступний етап - апроксимація меж розділу середовищ та розбивки розрахункової області на підобласті. Робота з підсистемою підобластей проводиться в такому порядку:

- формування вершин апроксимуючого багатокутника;
- формування підобластей та апроксимації їх границь.

Отриману апроксимовану розрахункову модель необхідно розбити на трикутні елементи. Це завдання вирішується за допомогою підсистеми триангуляції. Ця підсистема працює за підобластями в порядку формування в підсистемі апроксимації. В основу цієї підсистеми покладено фронтальний алгоритм триангуляції, що базується на одній із 2-х операцій:

- «зрізу» – найменшого внутрішнього кута підобласті, якщо цей кут менший за певну величину, з побудовою одного трикутного елемента;
- «виїмка» – на найменшому внутрішньому куті реалізується операція «виїмка» з побудовою нового вузла всередині підобласті та формуванням 2-х трикутних елементів.

Триангуляція розрахункової моделі соленоїда здійснено автоматично. Звичайно елементна сітка, отримана на виході сіткового генератора, практично не може бути використана як кінцево-елементна модель розрахункової області, т.к. пропонує хаотичну нумерацію вузлів, що призводить до різкого збільшення, що вимагає вирішення системи нелінійних рівнянь, оперативної пам'яті. З метою отримання оптимальної нумерації вузлів у методі кінцевих елементів передбачена підсистема перенумерації вузлів у відповідність до фронтального алгоритму перенумерації. При цьому

в інтерактивному режимі позначаються по порядку вузли початкового фронту (два або більше вузлів кінцево-елементної сітки). Надалі процес відбувається автоматично.

В результаті виконання двох останніх етапів формується кінцево-елементна модель, представлена на рисунку 2.3.

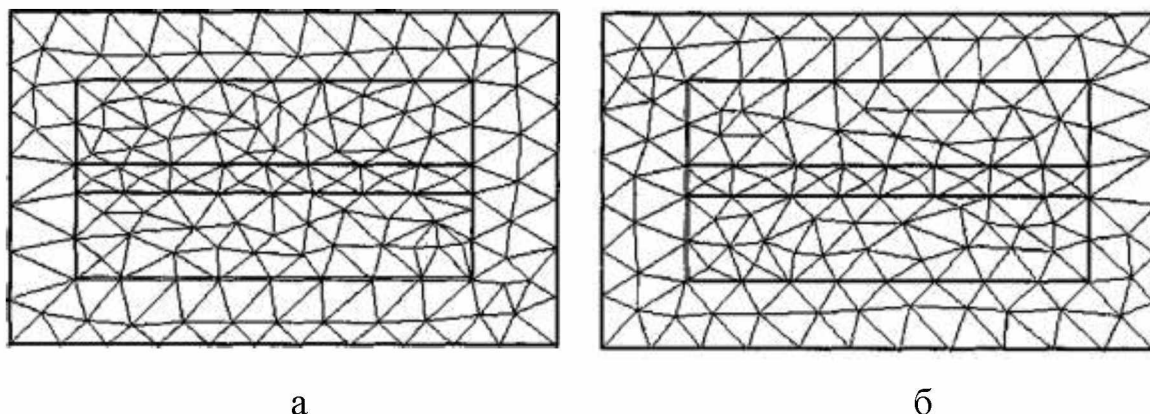


Рисунок 2.3 – Кінцева елементна модель соленоїда:

а) з повітряним зазором; б) з феромагнетиком у зазорі

Розрахунок кінцево-елементної моделі проводиться в автоматичному режимі в 2 етапи:

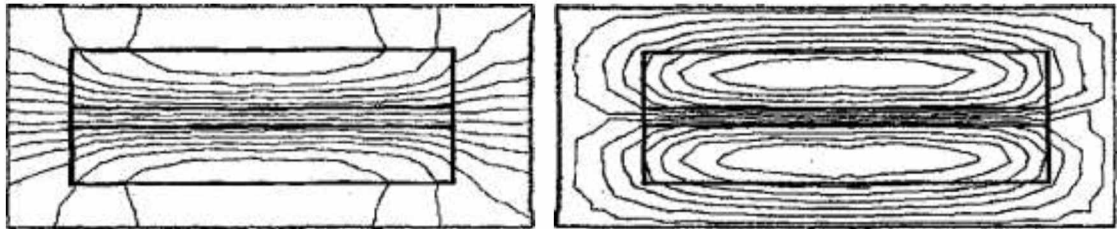
1 етап – формування системи нелінійних рівнянь методом кінцевих елементів;

2 етап – розв’язання системи нелінійних рівнянь методом Ньютона-Рафсона. При цьому на кожному кроці операції видається таблиця значень векторного магнітного потенціалу у вузлах звичайно елементної сітки на цьому кроці.

Для візуалізації результатів розрахунку магнітного поля використається підсистема обробки результатів розрахунків. За допомогою цієї підсистеми було отримано картину силових ліній магнітного поля в соленоїді (рисунок 2.4).

Як видно із рисунка 2.3, в соленоїді з повітряним зазором більшість силових ліній замикається в струмовій області (в обмотці) соленоїда, а менша частина – в зазорі. Введення в соленоїд феромагнетика призводить до різкого

збільшення концентрації силових ліній у зазорі соленоїда, а отже, і збільшення магнітної індукції. У конкретному випадку індукція збільшується майже у 2,5 разів у порівнянні з величиною індукції в соленоїді з повітряним зазором.



а

б

Рисунок 2.4 – Силові лінії магнітного поля в соленоїді

а) з повітряним зазором; б) з феромагнетиком у зазорі

Виходячи з перерахованого вище, можна зробити висновок про доцільність застосування соленоїдів з феромагнетиком в зазорі при магнітно-імпульсній обробці.

Основні технічні характеристики установки:

- габаритні розміри головного блоку:
ширина 400 мм; висота 300 мм; глибина 350 мм;
- продуктивність установки при середніх режимах обробки 5-6 інструментів за годину;
- напруженість магнітного поля на осі соленоїда щонайменше 1000 кА;
- діаметр робочого каналу соленоїда не менше 30 мм;
- довжина робочого каналу соленоїда не менше 140 мм;
- джерело живлення трифазна мережа напругою 380 Вт;
- потужність в черговому режимі не більше 0,05 кВт;
- середня споживана потужність у режимі обробки не більше 1,0 кВт;
- імпульсна споживана потужність не більше 80 кВт;
- амплітуда споживаного струму трохи більше 150 А;
- номінальна тривалість імпульсу струму 1 с.

2.3 Пристрій та методика вимірювання омичного опору свердла

Зі збільшенням кількості магнітних імпульсів, що впливають на свердло в ході експерименту, висунуто припущення про їх вплив на зміну електропровідності свердла. У ході науково-дослідної роботи було спроектовано пристосування для вимірювання опору омичного свердла.

На рисунку 2.5 показано ескіз пристосування для вимірювання омичного опору свердла.

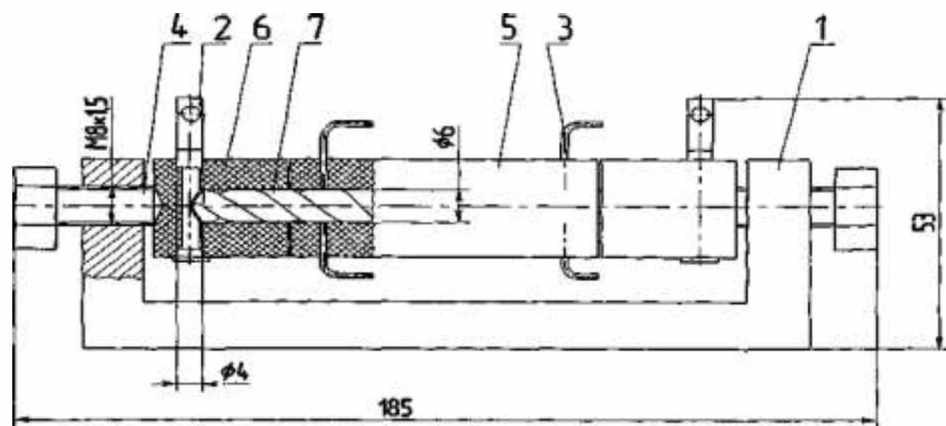


Рисунок 2.5 – Пристрій для вимірювання омичного опору свердла

Пристрій для вимірювання омичного опору свердла складається з корпусу 1, контактів 2, пружинних контактів 3, підтискового болта 4, ебонітових ізоляторів 5 і 6. Свердло 7 встановлюється в ебонітові ізолятори 5 і 6 до упору у спеціальні мідні трубки.

Ебонітові ізолятори підтискаються спеціальними болтами 4, які загвинчені в корпус 1. Після цього в отвори вставляються пружинні контакти 3.

До контактів 3 і 2 приєднуються вольтметр та амперметр. Після чого знімаються показання приладів та обчислюється омичний опір свердла.

При проведенні експериментів необхідно безпосередньо вимірювати напругу на об'єкті (свердлі) та струм у ньому. Опір ділянки, обмеженої потенційними контактами, обчислюємо за законом Ома:

$$R = \frac{U_V}{I_A}. \quad (2.1)$$

Отримана величина відповідає опору випробуваного свердла між точками підключення затискачів вольтметра. Якщо відстань між потенційними затискачами L , а площа поперечного перерізу зразка S , питомий опір зразка визначається за формулою:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L}. \quad (2.2)$$

Питомий опір ρ характеризує властивості матеріалу. Саме зміни питомого опору імовірно веде магнітна обробка матеріалу. Для проведення вимірювань виготовлено пристрій, показаний на рисунку 2.5.

Між болтами в ебонітових ізоляторах встановлюється свердло. Усередині кожного ізолятора по два контакти – струмовий та потенційний. Токовий контакт виконано із мідної трубки. Потенційний контакт зігнутий із пружинного сталевго дроту діаметром 1 мм. Далі проводяться вимірювання опору омічного свердла діаметром 6 мм, закріпленого в пристосуванні. Відстань між точками підключення потенційних електродів до свердла $L = 70,9 \dots 75,5$ мм.

Вимірювання проводили через кожні два імпульси магнітної обробки. Свердло встановлювали у пристрій. На струмові електроди від джерела живлення подавали струм. Силу струму I_A та напругу між потенційними затискачами U_V вимірювали мультиметром. Режим короткого замикання для нього не допустимий, тому послідовно з пристроєм включили лампу розжарювання 20 Вт. Після включення, схема перебуває під напругою до того часу, поки перестають змінюватися показання амперметра. Прогрів лампи займає кілька хвилин.

Залежно від точності отриманих показників опір свердла R обчислювали за формулами (2.3), (2.4) або (2.5):

$$R = \frac{(U_{V1} + U_{V2})/2}{I_A}, \quad (2.3)$$

$$R = \frac{U_V}{(I_{A1} + I_{A2})/2}, \quad (2.4)$$

$$R = \frac{(U_{V1} + U_{V2})/2}{(I_{A1} + I_{A2})/2}. \quad (2.5)$$

Вимірювання намагніченості свердла проводили на установці, схема якої наведена на рисунку 2.6.

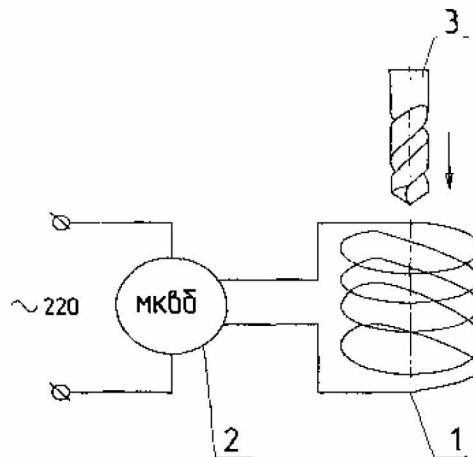


Рисунок 2.6 – Схема вимірювання намагніченості:

1 – котушка (соленоїд); 2 – мультиметр; 3 – свердло

Мультиметр перед включенням заземлили. Для досягнення максимальної точності, вимірювання проводили попередньо відрегулювавши стрілку індикатора за допомогою ручок грубої та точної настройки.

Котушку (соленоїд) змонтували на штативі, через яку повільно пропускали свердло та знімали показники.

2.4 Пристрій для вимірювання крутного моменту різання

Вимірювання моменту різання проводили на пристрої для визначення крутного моменту, базування та фіксації свердла, яка показана на рисунку 2.7.

Установка є поворотним столом 11, який прикріплено до столу 13 двома болтами 12. Верхня частина поворотного столу вільно обертається, а нижня нерухома. За допомогою болта 10 до поворотного столу прикріплено трос 3. Інший кінець троса приєднано до повзуна 2. На повзуні також є стрілка, що показує поточне положення відносно планки 4. Повзун прикріплений до планки пружиною 1. На планці є пронумеровані поділки. При повороті поворотного столу трос починає накручуватися на круглий стіл і рухає за

собою повзун, який стрілкою показує прикладений в даний момент до столу момент Н/м. Тим самим визначається крутний момент при свердлінні.

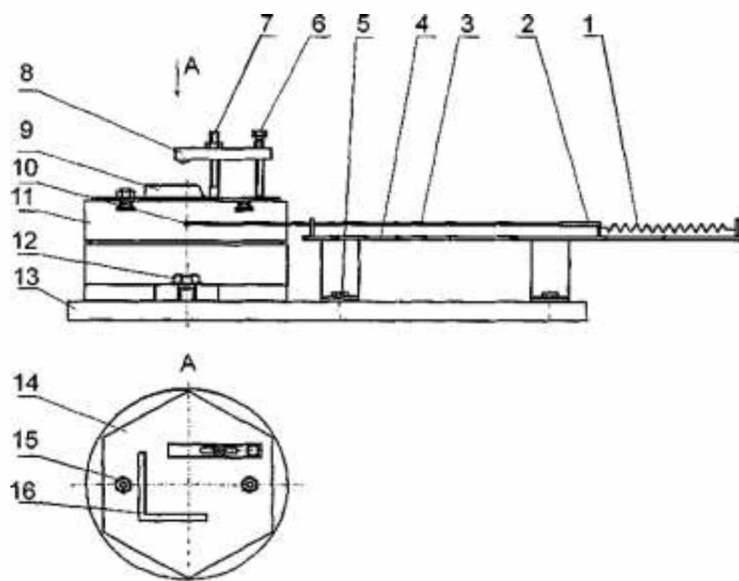


Рисунок 2.7 – Установка для вимірювання крутного моменту різання

За допомогою болтів 15 та Т-подібних пазів зверху на поворотний стіл прикріпляється пристосування для встановлення та закріплення заготовок. Пристосування складається з кутика 16, в який ставиться кругла заготовка у вигляді диска, і зажимного елемента у вигляді консолі 8, болта 6 і зажимної гайки 7.

2.5 Методика проведення експериментів з вивчення впливу імпульсної магнітної обробки на знос свердл

З метою вивчення впливу імпульсної магнітної обробки на знос свердла та отримання оптимальних режимів обробки для даного виду інструменту у даній роботі використали наступну методику проведення експериментів.

Об'єктом випробування є свердла зі сталі Р6М5 діаметром 6 мм.

Режими різання визначали за довідковими даними залежно від твердості оброблюваного матеріалу та діаметра свердла [14-18]. Для легованих конструкційних сталей (40Х, 12Х18Н10Т): $v = 8$ м/хв, $n = 500$ об/хв,

$s = 0,12$ мм/об. Для вуглецевих якісних конструкційних сталей (20, 30, 45):
 $v = 15$ м/хв, $n = 710$ об/хв, $s = 0,2$ мм/об.

Провести дослідження впливу тривалості імпульсної магнітної обробки, величини напруженості магнітного поля на стійкість свердла діаметром 6 мм із швидкорізальної сталі Р6М5 при різанні вуглецевих якісних конструкційних сталей 20, 30, 45, легованих конструкційних сталей 40Х, 12Х18Н. Експерименти проводили на радіально-свердлильному верстаті 2А135 з автоматичною подачею інструменту та його охолодженням змащувально-охолоджуючою рідиною (ЗОР). Оброблюваним матеріалом вибрали заготовки у формі пластин товщиною 15 мм. Свердла обробляли імпульсним магнітним полем. Момент різання вимірювали на установці, схема якої наведена на рисунку 2.7.

Спочатку провести дослідження відносної стійкості свердлів, оброблених і не оброблених МІО напруженістю магнітного поля 100...800 кА/м, кількістю імпульсів 3, тривалістю імпульсу 0,1 с з феромагнітним порошком при свердлінні сталі 45 на верстаті типу 2А135 при наступних режимах $n = 710$ об/хв, $s = 0,2$ мм/об.

Далі провести дослідження впливу імпульсної магнітної обробки з використанням феромагнітного порошку і без нього на стійкість свердлів зі швидкорізальної сталі Р6М5 при обробці сталей 20, 40Х і 12Х18Н10Т з напруженістю магнітного поля 500 кА/м та трьома імпульсами. Дослідження провести на радіально-свердлильному верстаті 2А135 з автоматичною подачею інструменту та його охолодженням ЗОР.

Потім провести дослідження впливу МІО без вібрації та з вібрацією ріжучого інструменту (свердла) під час знаходження його в порожнині соленоїда, а також у комбінації з вібрацією ріжучого інструменту (свердла) з феромагнітним порошком. Дослідження провести зі свердлами зі швидкорізальної сталі Р6М5 при обробці сталі 30 з напруженістю магнітного поля 500 кА/м і трьома імпульсами на радіально-свердлильному верстаті 2А135 з автоматичною подачею інструменту та його охолодженням ЗОР.

2.6 Дислокаційний механізм розвитку тріщин у матриці сплаву

Процеси, що відбуваються в металі під дією магнітного поля, дуже подібні до процесів, що відбуваються в металі в результаті полігонізації [2], сутність якого полягає у нагріванні деформованого металу до заданої температури. При цьому всередині зерен утворюється велика кількість маленьких субзерен, що мають загальну орієнтацію. Підвищення температури призводить до зростання субзерен, але при цьому не порушуються вихідні границі зерна. Внаслідок зменшення кількості субзерен збільшується щільність дислокацій на межах, а також кут нахилу між сусідніми субзернами. Як наслідок поверхнева енергія субграниць збільшується. Самі ж субграниці намагаються з'єднатися в під кутом 120° , тобто набути сферичної форми.

У даний час для вивчення пластичної деформації та руйнування матеріалів існує два відокремлені методи: макроскопічний та мікроскопічний.

Мікроскопічний метод визначає деякі критичні значення напруги і деформації, при досягненні яких настає раптове руйнування матеріалу. Тим часом сучасні дані, отримані при вивченні пластичної деформації та руйнування з мікроскопічної точки зору, призводять до уявлень про кінетичну природу міцності, коли розвиток процесів руйнування відбувається поступово, у міру накопичення певного виду дефектів, що утворюються в ході пластичної деформації. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, які обмежують їх сферу використання.

Відповідно до дислокаційної теорії, що отримала найбільшу популярність за останні роки, у процесі втомного руйнування металу діють три стадії [3]. На початковій стадії під дією змінних навантажень у металі відбувається накопичення пружних спотворень кристалічних решіток за рахунок збільшення щільності дислокацій. В окремих місцях, де досягнуто критичної щільності дислокацій, виникають субмікроскопічні тріщини (1-я стадія втоми). Друга стадія руйнування пов'язана з незворотними спотвореннями кристалічних решіток у процесі масового виходу дислокацій

на поверхню, порушуються міжатомні зв'язки, субмікроскопічні тріщини переростають у мікротріщини. Третя стадія втомного руйнування – стадія незворотного пошкодження, що пов'язана зі зростанням кількості та довжини мікротріщин із подальшим утворенням головної тріщини, що і призводить до руйнування. Тривалість даних стадій у різних металів різна, але відношення тривалості (в циклах) початкової стадії до тривалості всього процесу втомного руйнування для кожного металу є величина більш-менш постійна і знаходиться в межах 3-10%. Таким чином, довговічність деталі практично визначається процесом перетворення зародкової субмікроскопічної тріщини на макротріщину, збільшення якої призводить до руйнування деталі.

Вплив мікроскопічних тріщин на механічні властивості твердих тіл вивчались у роботі [4], де наводиться залежність міцності від величини мікроскопічних тріщин:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\gamma \cdot G}{a}}, \quad (2.6)$$

де γ – поверхнева енергія; G – модуль пружності; a – довжина тріщини.

Під час експериментальних досліджень встановлено, що мікроскопічні тріщини крихких металів ведуть до зниження міцності, а поява мікротріщин у пластичних матеріалах супроводжується зменшенням їх пластичності, практично не впливаючи на опір деформуванню. У результаті зроблено висновок, що вже на ранніх стадіях розвитку пластичної деформації, задовго до макроскопічного руйнування, у деформованому матеріалі можуть виникати окремі, порівняно невеликі, області з сильно спотвореними кристалічними решітками, в яких утворення мікротріщин відбувається легше. При сприятливому деформуванні в цих областях виникатимуть макроскопічні тріщини, які можуть призвести до руйнування. Причина виникнення мікротріщин – накопичення дислокацій біля перешкод на площинах ковзання, що викликають виникнення значних напружень. Ці висновки підтверджуються багатьма дослідженнями. Однак у роботах немає відомостей

про утворення та розвиток мікротріщин у матеріалах, зміцнених імпульсним магнітним полем.

Під час розвитку пластичної деформації в окремих зернах металу можуть активізуватися процеси зародження субмікротріщин. Зародження тріщини вимагає величезних зусиль, рівних за рівнем теоретичної, когезійної міцності кристала.

Різні дослідники пропонували моделі виникнення субмікротріщин при локалізації пластичного руху за певними площинами або полосами ковзання в зерні. В їх основі лежать відомі [4] уявлення про дислокаційні скупчення перед різними перешкодами, такими як межа зерна або двійника, стороннє включення, перетин площин і т.д. Наведені моделі відрізняються за рівнем критичної напруги, необхідної для зародження тріщини. Розрахунок цих напруг ускладнений, тому що для цього необхідні відомості не тільки про розмір зерен, а й про опір руху дислокацій у тілі зерна та енергії утворення нових поверхонь. Таким чином, дослідники пов'язують утворення тріщини зі зміною енергетичного критерію Гріффітса.

Під час розгляду механізму розвитку мікротріщин у металі [5], зміцненому імпульсною магнітною обробкою, припустимо, що у поверхневому шарі металу вже є мікротріщини, що виникли внаслідок пластичної деформації при виготовленні різців із швидкорізальної сталі. У результаті МІО відбувається утворення субзерен у зернах вихідної структури (рисунок 2.8).

При збільшенні зовнішнього навантаження триває пластична течія по площині А-А у зерні 1, що збігається з кінцем існуючої тріщини T_1 . У результаті на межі між зерном 1 і субзерном C_1 виникає концентрація розтягуючих напружень. Під час дії МІО відбувається зменшення граничної енергії на межах зерен (субзерен) і тому вони стали стійкішими до міжзернового руйнування. Крім того, при дробленні зерна виникли нові малокутові та спеціальні межі субзерен, які є менш жорсткими бар'єрами для дислокацій порівняно з межами зерен.

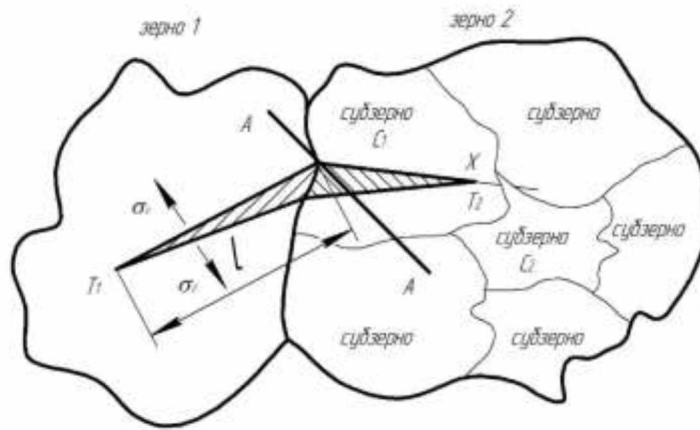


Рисунок 2.8 – Схема дислокаційних структурних змін під час поширення мікротріщин від зерна до зерна металу, зміцненого імпульсною магнітною обробкою

Це означає, що напруження розтягу в кінці полоси ковзання А-А буде значно нижчим, а напруження σ_x у точці Х субзерна C_1 не досягне критичної величини. Таким чином не будуть створені умови для продовження тріщини T_2 у субзерні C_1 і далі в субзерні C_2 .

Величина переданих із зерна 1 в зерно 2 напружень розтягу змінюється з відстанню від межі зерен. У певній точці Х ці напруження становлять:

$$\sigma_x = q \cdot \sigma_\theta + (\sigma - \sigma_0) \cdot (d/2 \cdot l)^{0,5}, \quad (2.7)$$

де q – коефіцієнт концентрації розтягуючих компонентів напружень σ_θ в кінці раніше утвореної тріщини в зерні 1; σ – приведене дотичне зовнішнє напруження, що перевищує границю текучості матеріалу; d – середній діаметр зерна; l – відстань від межі зерна до точки Х; σ_0 – напруження опору дислокаціям, що рухаються з боку розчинених атомів і дисперсних фаз у матриці, дислокаційних субграниць, а також напруження тертя Пайєрлса-Набарро.

Напруження опору дислокаціям становить:

$$\sigma_0 = \sigma_\Pi + \sigma_D, \quad (2.8)$$

де σ_Π – напруження тертя Пайєрлса-Набарро

$$\sigma_\Pi = \alpha \cdot G \cdot \frac{b}{w} \cdot e^{-2\pi(w/b)}, \quad (2.9)$$

де α – чисельний коефіцієнт, що залежить від геометрії дислокації; G –

модуль зсуву матриці; b – вектор Бюргерса; W – ширина дислокації; σ_D – напруження, що необхідне для продовження пластичної деформації.

У результаті проведених розрахунків встановлено, що для вихідного матеріалу (без термообробки та МІО) – $\sigma_{II} = 1,33$ МПа; для загартованого матеріалу – $\sigma_{II} = 7,65$ МПа; для загартованого та підданого МІО – $\sigma_{II} = 45,4$ МПа. Це означає, що для здійснення зрушення незаблокованої прямолінійної дислокації необхідно прикласти до кристала напруження не менше 1,33 МПа; 7,65 МПа та 45,4 МПа.

Таким чином, можна зробити висновок, що магнітно-імпульсна обробка зменшує можливість утворення нових та розвиток вже наявних мікротріщин за рахунок збільшення напруги опору руху дислокацій у матеріалі. Цей опір збільшується також за рахунок підвищення напруги σ_D , що залежить від щільності дислокацій.

Висновки

1. Проаналізовано геометрію соленоїдів, які використовуються для виготовлення магнітних індукторів. Запропоновано враховувати форм-фактор соленоїда, що надає значний вплив на силові характеристики розроблених індукторів. Отримано картину та розподіл напруженості магнітного поля в робочому зазорі соленоїда.

2. Розроблено методики проведення експериментальних досліджень для вимірювання омічного опору матеріалу свердла, для вимірювання намагніченості матеріалу свердла, для вимірювання моментів різання, вивчення впливу імпульсної магнітної обробки на знос свердла.

Розділ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вплив імпульсної магнітної обробки на знос ріжучих інструментів при свердлінні сталі 45

Вплив тривалості імпульсної магнітної обробки, величини напруженості магнітного поля на стійкість і величину зношування фаски задньої поверхні свердла діаметром 6 мм з швидкорізальної сталі Р6М5 досліджувався при різанні вуглецевих якісних конструкційних сталей 20, 30, 45 та легованих конструкційних сталей. Експерименти проводилися на радіально-свердлувальному верстаті 2А135 з автоматичною подачею інструменту з охолодженням ЗОР. Оброблюваним матеріалом було обрано заготовки у формі пластин товщиною 15 мм. Ріжучі кромки свердла фотографувалися на спеціальних установках за допомогою цифрового фотоапарата. Свердла оброблялися імпульсним магнітним полем.

Режими механічної обробки для легованих конструкційних сталей (40Х, 12Х18Н10Т): $s = 0,12 \dots 0,2$ мм/об, $v = 6 \dots 10$ м/хв; для вуглецевих якісних конструкційних сталей 20, 30, 45: $s = 0,18 \dots 0,22$ мм/об, $v = 14 \dots 18$ м/хв. Експерименти проводили на радіально-свердлильному верстаті 2А135 з автоматичною подачею інструменту та охолодженням ЗОР при концентрації 5%. Були вибрані заготовки у формі пластин завтовшки 15 мм.

Спочатку були проведені дослідження відносної стійкості свердл, оброблених і не оброблених МІО напруженістю магнітного поля $100 \dots 800$ кА/м, кількістю імпульсів 3, тривалістю імпульсу – 0,1 с з феромагнітним порошком при свердлінні сталі 45 на верстаті типу 2А135 при $n = 710$ об/хв, $v = 15$ м/хв, $s = 0,2$ мм/об.

На рисунку 3.1 показано вплив напруженості магнітного поля з кількістю 3 імпульсів на відносну стійкість свердл.

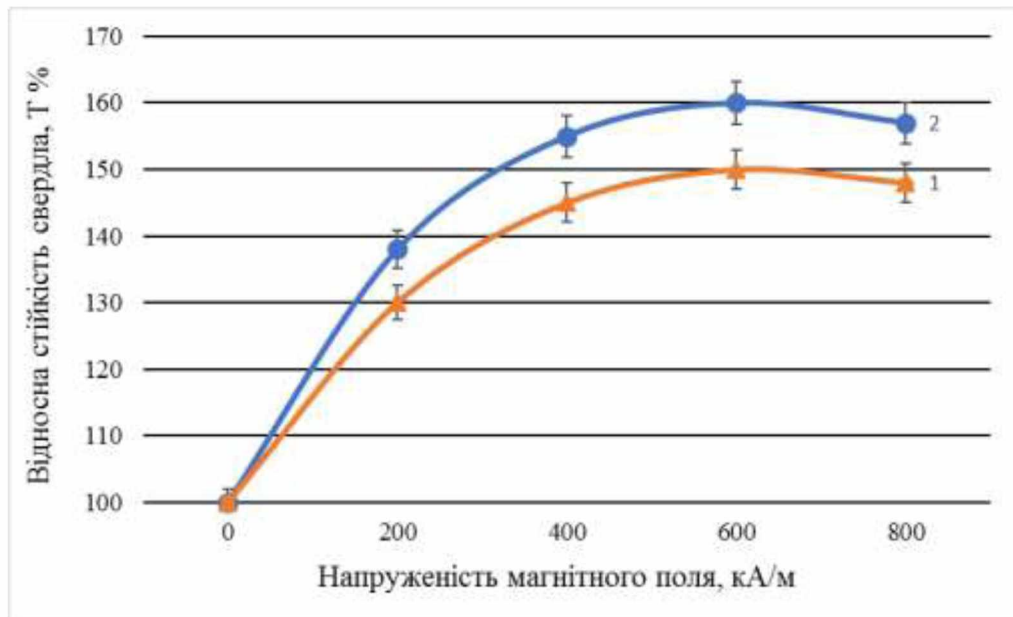


Рисунок 3.1 – Вплив напруженості магнітного поля 3-х імпульсів МІО на відносну стійкість свердла: 1 – при МІО з феромагнітним порошком; 2 – при МІО без феромагнітного порошку

Дослідження показали найбільшу відносну стійкість свердла при МІО напруженістю магнітного поля 500 кА/м. Далі всі дослідження зміцненням МІО з використанням феромагнітного порошку проводилися з напруженістю магнітного поля 500 кА/м.

Далі були проведені дослідження зносу задніх поверхонь кромки свердла діаметром 6 мм із швидкорізальної сталі Р6М5 з МІО при $H=500$ кА/м з різною кількістю імпульсів та із застосуванням феромагнітного порошку при обробці сталі 45.

На рисунку 3.2 показана залежність зношування фаски задньої поверхні свердла діаметром 6 мм свердла з швидкорізальної сталі Р6М5 від сумарної величини свердління при обробці сталі 45 при МІО з $H = 500$ кА/м з феромагнітним порошком.

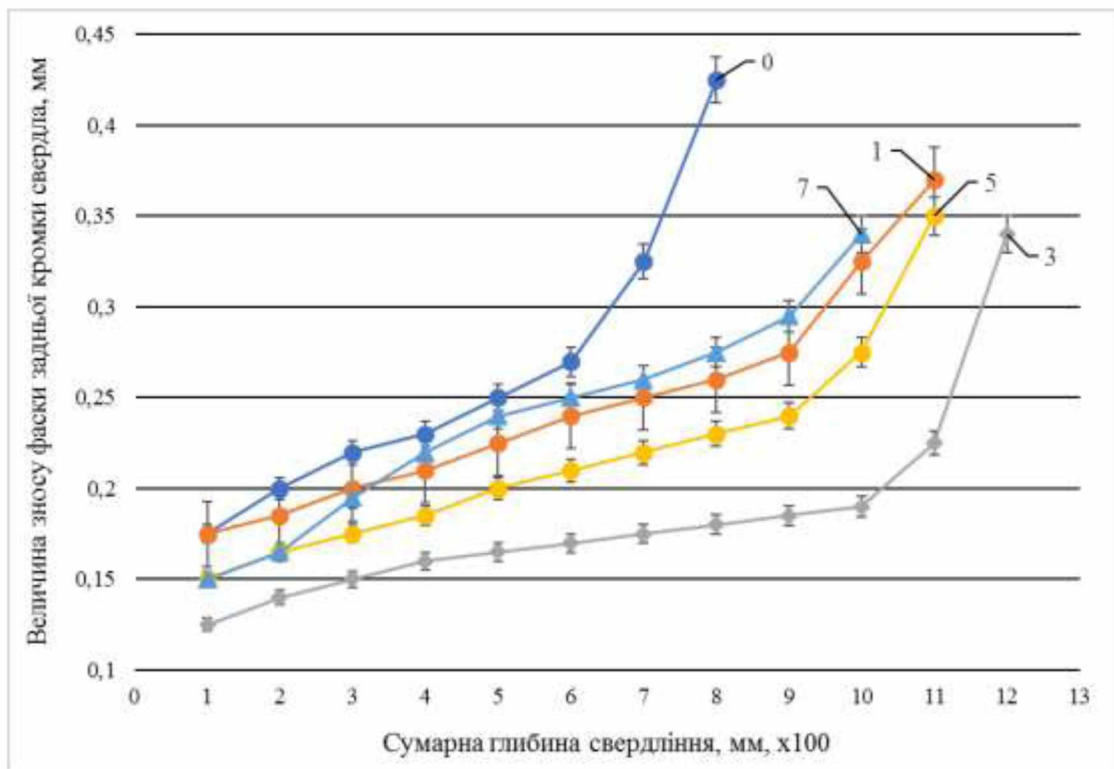


Рисунок 3.2 – Залежність зносу фаски задньої кромки свердла діаметром 6 мм свердла з швидкорізальної сталі Р6М5 від сумарної глибини свердління при обробці сталі 45 при МІО з $H=500$ кА/м з феромагнітним порошком: 0 – без обробки МІО; 1 – з МІО та одним імпульсом; 3 – з МІО та трьома імпульсами; 5 – з МІО та п'ятьма імпульсами; 7 – з МІО та сімома імпульсами

Аналіз показує, що при обробці сталі 45 знос фаски задньої поверхні свердла при обробці МІО з феромагнітним порошком напруженістю $H=500$ кА/м знаходиться в межах 0,34-0,42 мм, а сумарна глибина свердління в межах 800-1200 мм. Причому найменше зношування фаски задньої поверхні свердла відбувається при кількості імпульсів рівним трьом.

Проведені експерименти показали, що за оптимальної напруженості поля 500 кА/м з феромагнітним порошком максимальна відносна стійкість свердл досягається при 3-х імпульсах. На рисунку 3.3 представлена відносна стійкість свердла при свердлінні сталі 45.

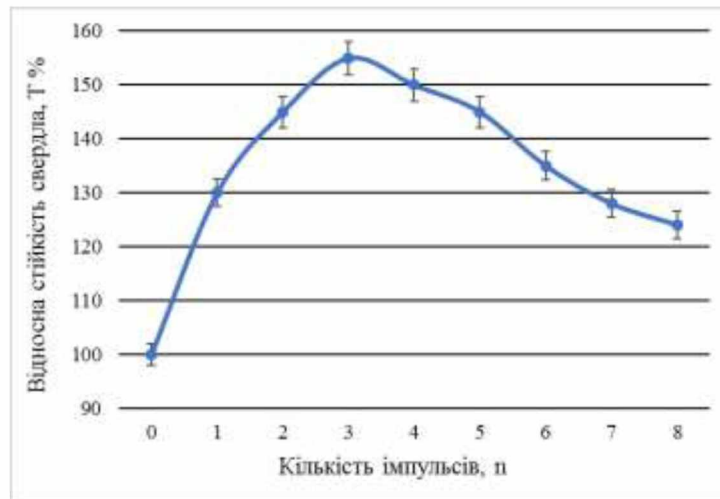


Рисунок 3.3 – Вплив кількості імпульсів магнітної обробки з феромагнітним порошком на відносну стійкість свердла

На рисунку 3.4 показана залежність зміни крутного моменту від сумарної глибини свердління сталі 45 при МІО з $H = 500$ кА/м з феромагнітним порошком.

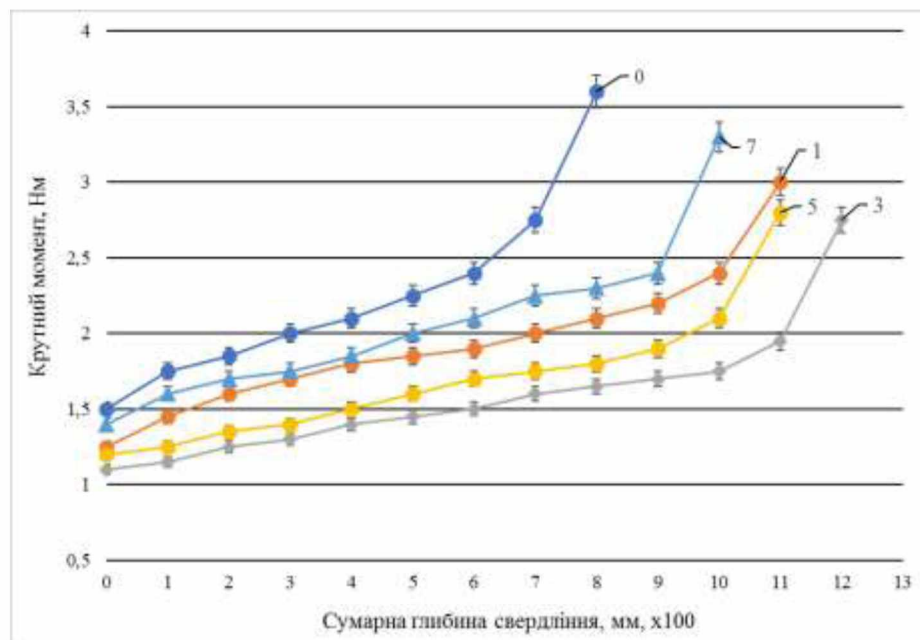


Рисунок 3.4 – Залежність зміни крутного моменту від сумарної глибини свердління сталі 45 при МІО з $H = 500$ кА/м з феромагнітним порошком: 0 – без обробки МІО; 1 – з МІО та одним імпульсом; 3 – з МІО та трьома імпульсами; 5 – з МІО та п'ятьма імпульсами; 7 – з МІО та сімома імпульсами

Експерименти з вимірювання крутного моменту при обробці деталей зі сталі 45 показали, що найменший крутний момент виникає при обробці

свердлами обробленими $H = 500$ кА/м з феромагнітним порошком і кількості імпульсів рівним трьом.

3.2 Вплив імпульсної магнітної обробки на знос ріжучих інструментів при свердлінні сталей 20, 40X та 12X18H10T

Далі проводилися дослідження впливу імпульсної магнітної обробки з використанням феромагнітного порошку і без нього на стійкість свердла з швидкорізальної сталі Р6М5 при обробці сталей 20, 40X і 12X18H10T з напруженістю магнітного поля 500 кА/м і трьома імпульсами. Дослідження проводилися на радіально свердлильному верстаті 2А135 з автоматичною подачею інструменту та охолодженням ЗОР.

При обробці сталі 20 без МІО зношування фаски задньої поверхні свердла відбувається по всій довжині ріжучої кромки (фаски) і по куточках ріжучих кромок (заокруглення), по перемичці (допоміжній ріжучій кромці). Після обробки МІО без феромагнітного порошку перемичка свердла та куточки ріжучих кромок (заокруглення) зношуються мало. Після обробки МІО з феромагнітним порошком зношування фаски, перемички свердла та куточків ріжучих кромок (округлення) ще менше.

При обробці сталі 40X без МІО зношування фаски задньої поверхні свердла відбувається по всій довжині ріжучої кромки (фаски) і по куточках ріжучих кромок (заокруглення), по перемичці (допоміжній ріжучій кромці). Після обробки МІО та МІО з феромагнітним порошком фаски зношування задньої поверхні свердлів, перемичка та куточки ріжучих кромок свердла зношуються незначно.

При обробці сталі 12X18H10T без МІО зношування фаски задньої поверхні свердла відбувається по всій довжині ріжучої кромки (фаски) і по куточках ріжучих кромок (скруглення), по перемичці (допоміжній ріжучій кромці). Після обробкою МІО та МІО з феромагнітним порошком фаски, зносу задньої поверхні свердлів, перемичка та куточки ріжучих кромок свердла

зношуються мало. На рисунках 3.5...3.7 представлені залежності зносу величини фасок задніх поверхонь кромки свердла від сумарної глибини свердління при МІО з $H = 500$ кА/м і трьома імпульсами свердл діаметром 6 мм з швидкорізальної сталі Р6М5 при свердлінні сталей.

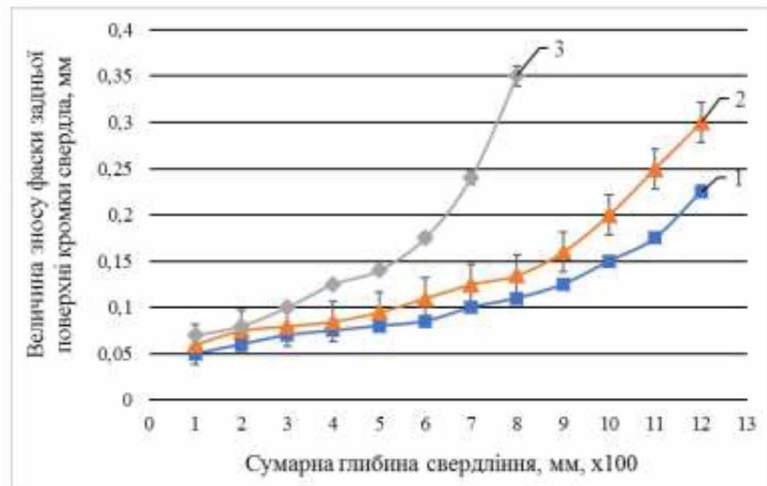


Рисунок 3.5 – Залежність зносу величини фасок задніх поверхонь кромки свердла діаметром 6 мм з швидкорізальної сталі Р6М5 при обробці сталі 20 від сумарної глибини свердління при МІО з $H = 500$ кА/м і трьома імпульсами: 1 – МІО з феромагнітним порошком; 2 – з МІО без феромагнітного порошку; 3 – без МІО

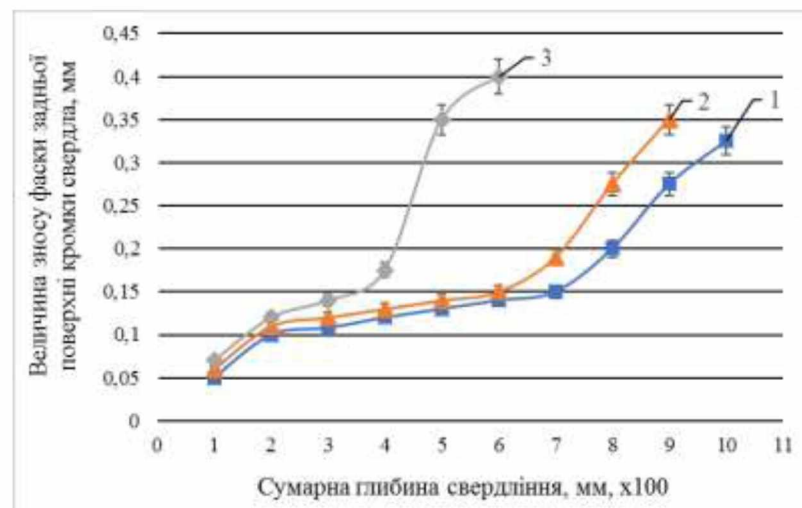


Рисунок 3.6 – Залежність зносу величини фасок задніх поверхонь кромки свердла діаметром 6 мм з швидкорізальної сталі Р6М5 при обробці сталі 40Х від сумарної глибини свердління при МІО з $H = 500$ кА/м і трьома імпульсами: 1 – МІО з феромагнітним порошком; 2 – з МІО без феромагнітного порошку; 3 – без МІО

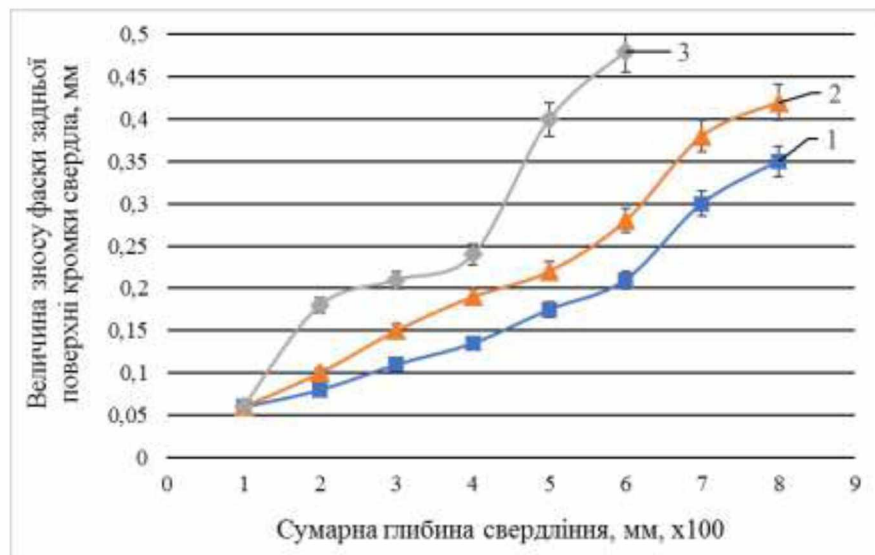


Рисунок 3.7 – Залежність зносу величини фасок задніх поверхонь кромки свердла діаметром 6 мм із швидкорізальної сталі Р6М5 при обробці сталі 12Х18Н10Т від сумарної глибини свердління при МІО з $H = 500$ кА/м і трьома імпульсами: 1 – МІО з феромагнітним порошком; 2 – з МІО без феромагнітного порошку; 3 – без МІО

На рисунках 3.5...3.7 виявлена відмінність у величині зносу задньої кромки свердла й у сумарній глибині свердління під час обробки різних сталей. При обробці сталі 20 величина зношування задньої поверхні кромки без зміцнення МІО становить 0,35 мм, сталі 40Х-0,4 мм, сталі 12Х18Н10Т – 0,48 мм. Після зміцнення МІО без використання феромагнітного порошку величина зносу становить відповідно – 0,3 мм, 0,35 мм і 0,42 мм для сталей 20, 40Х і 12Х18Н10Т. Використання феромагнітного порошку при зміцненні свердлів призводить до зменшення зносу фасок задньої поверхні кромки свердла до 0,27 мм, 0,32 мм та 0,36 мм, відповідно, для сталей 20, 40Х та 12Х18Н10Т.

При обробці сталі 20 сумарна глибина свердління без зміцнення МІО становить 800 мм, сталі 40Х – 600 мм, сталі 12Х18Н10Т – 550 мм. Після зміцнення МІО без використання феромагнітного порошку сумарна глибина свердління становить відповідно – 1150 мм, 900 мм і 750 мм для сталей 20,

40X і 12X18H10T. Використання феромагнітного порошку 1250 мм, 950 мм та 800 мм, відповідно, для сталей 20, 40X та 12X18H10T.

На рисунках 3.8...3.10 представлені гістограми відносної стійкості свердла, оброблених та не оброблених у імпульсному магнітному полі з феромагнітним порошком та без нього.

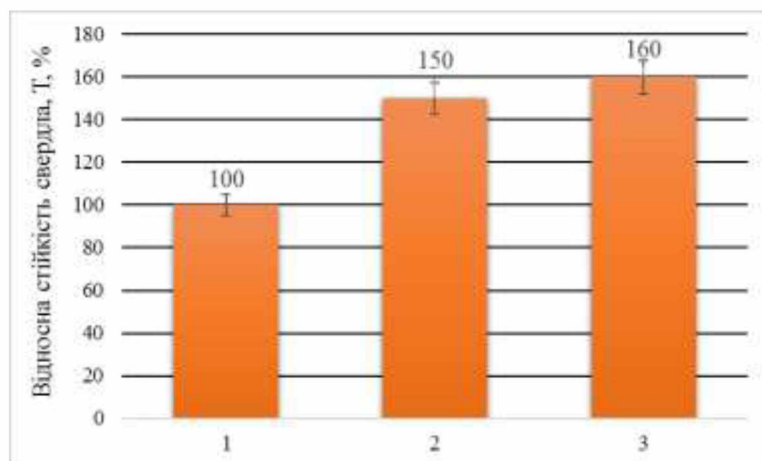


Рисунок 3.8 – Відносна стійкість свердла при обробці сталі 20: 1 – без МІО; 2 – з МІО; 3 – з МІО з феромагнітним порошком

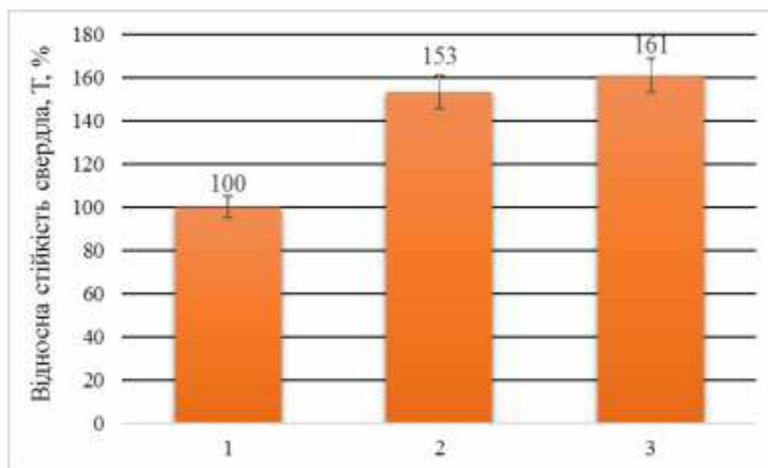


Рисунок 3.9 – Відносна стійкість свердла при обробці сталі 40X:
1 – без МІО; 2 – з МІО; 3 – з МІО з феромагнітним порошком

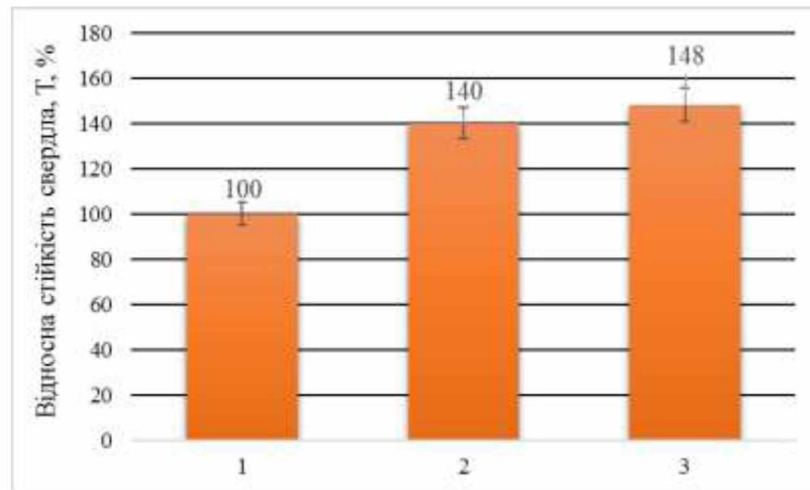


Рисунок 3.10 – Відносна стійкість свердла при обробці сталі 12Х18Н10Т:
1 – без МІО; 2 – з МІО; 3 – з МІО з феромагнітним порошком

Аналіз проведених досліджень на рисунках 3.8...3.10 показує, що обробка імпульсним магнітним полем підвищує відносну стійкість свердла у 1,4...1,5 разів. При цьому є відмінність у стійкості при свердлінні різних сталей. Найбільша стійкість спостерігається при різанні вуглецевої якісної конструкційної сталі 20, а найменша – при свердлінні сталі 12Х18Н10Т. Використання феромагнітного порошку при зміцненні свердла призводить до збільшення їх відносної стійкості до 10%.

3.3 Дослідження зони оптимальних режимів методу імпульсної магнітної обробки на стійкість свердла

Для проведення експерименту використали симплексно-сумований план, який був обраний за наступних причин:

- а) при невеликій кількості дослідів можна отримати математичну модель як поліноміального рівняння другого порядку;
- б) вплив одного з факторів можна досліджувати на п'яти рівнях, що особливо важливо для випадку, коли недостатньо даних щодо впливу одного з факторів.

Оскільки вплив кількості імпульсів t виявляється менш вивченим, ніж вплив напруженості поля H , вирішено досліджувати вплив t на п'яти рівнях, напруженості магнітного поля H – на трьох. Рівні факторів підбирали відповідно до можливості їх реалізації на установці.

У таблиці 3.1 представлені рівні факторів у натуральному та кодовому значенні. Для перекладу натуральних значень факторів, що варіюються, в кодові використовується формула кодування.

Таблиця 3.1 – Значення натуральних та кодових значень факторів моделі

Рівні факторів			
X_1 – кількість імпульсів		X_2 – напруженість магнітного поля, кА/м	
Натуральні значення	Кодові значення	Натуральні значення	Кодові значення
1	-1	-	-
3	-0,5	200	-0,866
5	0	400	0
7	+0,5	800	+0,866
10	+1	-	-

За математичну модель приймаємо поліном другого порядку виду:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2. \quad (3.1)$$

Після розрахунків коефіцієнтів та натуральних значень X_1 та X_2 рівняння (3.1) приймає вид:

$$Y = 495 - 3,33 \left(\frac{t-5}{4} \right) + 8,08 \left(\frac{H-400}{100} \right) - 14,5 \left(\frac{t-5}{4} \right)^2 - 13,57 \left(\frac{H-400}{100} \right)^2. \quad (3.2)$$

Визначаємо дисперсію адекватності за формулою:

$$s_{ад}^2 = \frac{r \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \bar{\bar{y}})^2}{N - \lambda}. \quad (3.3)$$

Гіпотезу про адекватність моделі перевіряємо по F-критерію:

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s^2(y)}. \quad (3.4)$$

Оскільки $F_p = 2,6 < F_{табл} = 4,49$ [22], при рівні значимості 0,05 і степенях свободи $f_1 = 1$ і $f_2 = 14$, то рівняння (3.2) є адекватним.

У таблиці 3.2 представлені матриця планування експерименту і експериментальні та розрахункові значення параметра оптимізації – величини зносу фаски задньої поверхні свердла.

Таблиця 3.2 – Матриця планування 2-го порядку

№ п/п	Кодові значення						Параметр оптимізації: (величина зношування фаски задньої поверхні свердла), мкм				
	X_0	X_1	X_2	X_1^2	X_2^2	X_1X_2	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}	Y_{u4}	Y_{u5}
1	+1	-1	0	+1	0	0	479	482	488	483	484
2	+1	+1	0	+1	0	0	474	481	480	478	477
3	+1	+0,5	+0,866	+0,25	+0,75	+0,43	486	483	490	486	484
4	+1	+0,5	-0,866	+0,25	+0,75	-0,43	466	478	473	472	468
5	+1	-0,5	+0,866	+0,25	+0,75	-0,43	496	487	490	491	488
6	+1	-0,5	-0,866	+0,25	+0,75	+0,43	472	482	476	477	472
7	+1	0	0	0	0	0	493	495	497	495	495

Рівняння (3.2) можна представити графічно. Для побудови та аналізу поверхні відгуку використовували програму Excel.

На рисунку 3.11 представлена поверхня відгуку параметра оптимізації величини зношування фаски задньої площини свердла залежно від кількості імпульсів та напруженості магнітного поля.

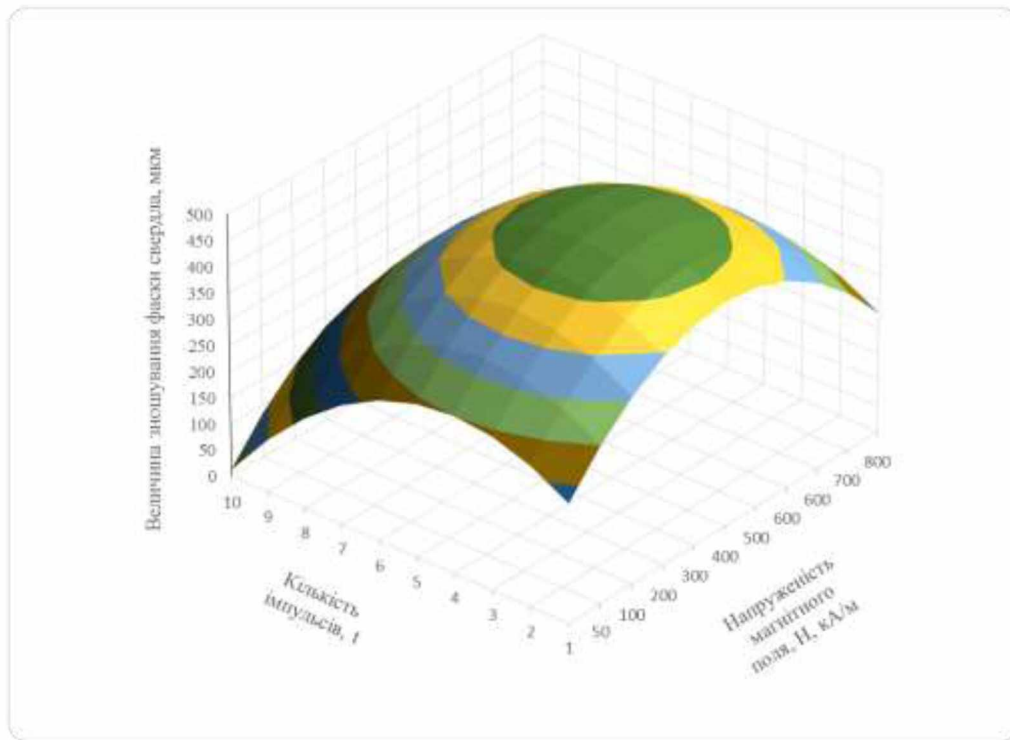


Рисунок 3.11 – Поверхня відгуку величини зношування фаски задньої площини свердла залежно від кількості імпульсів t та напруженості магнітного поля H

Для моделі 2-го порядку на підставі отриманих результатів та аналізу рівняння (3.2) можна зробити висновки, що оптимальними режимами МІО із застосуванням феромагнітного порошку для свердл діаметром 6 мм із сталі Р6М5 є:

- напруженість поля $H = 415$ кА/м;
- кількість імпульсів $t = 4$.

Висновки

1. Використання феромагнітного порошку при зміцненні свердл збільшує відносну стійкість до 10%.
2. Виробничі випробування свердл зміцнених імпульсною магнітною обробкою відповідно до рекомендованих методів та режимів показали збільшення працездатності свердл у 1,6 раза.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

Збереження навколишнього середовища передбачено Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (протокол № 1268-XII від 26.06.1991 року, який був прийнятий Верховною Радою України, № 41, ст.547) [18].

Під час проведення технічного обслуговування та ремонту машин виконують роботи, що пов'язані із забрудненням атмосферного повітря, води та ґрунту шкідливими речовинами, відходами, використанням експлуатаційних матеріалів та енергоресурсів.

Розмір впливу на екологію у технологічних процесах визначається типом машини, періодичністю проведення регламентованих робіт, рівнем надійності конструкції та номенклатурою обладнання. Наприклад, для усунення тріщин у корпусних деталях, відновлення посадкових місць під підшипники, усунення нерівностей на поверхнях використовують полімерні композиції та клейові суміші на основі епоксидних смол, токсичність яких обумовлена властивостями самих полімерів та розчинників. При цьому виділяються шкідливі речовини: етилхлоргідрин, толуол, дибутилфталат, поліетиленполіамін.

Під час відновлення деталей невеликих розмірів, гладких і різьбових отворів діаметром менше 25 мм використовують ручне електродугове зварювання з електродами, що містять шлакоутворюючі (польовий шпат, кварцовий пісок), розкисляючі (феромарганець, феросиліцій, алюміній) і легуючі речовини. При зварюванні утворюється пил від окиснення парів металів, CO, NOx, оксиди міді, марганцю, кремнію хрому), фтористі сполуки.

У процесі зварювання, наплавлення, паяння при виконанні операцій технічного обслуговування і поточного ремонту, повітря забруднюється зварювальним аерозолем, оксидами хрому та нікелю, оксидами азоту, вуглецю та іншими небезпечними речовинами.

У фарбувальних цехах токсичні речовини забруднюють повітря і воду. Вони виділяються в процесах знежирення поверхонь органічним розчинником, при підготовці лакофарбових матеріалів, їх нанесенні на поверхню виробу та сушінні покриття.

Для захисту навколишнього середовища застосовуються різні засоби і методи. Так, для очищення повітря від аерозолів у технологічних процесах обслуговування та ремонту машин використовуються:

- механічні обезпилюючі пристрої, в яких пил відокремлюється під дією сил тяжіння, інерції або відцентрової сили (пилоосаджувальні камери, циклони);
- мокрі, або гідравлічні апарати, в яких тверді частинки вловлюються рідиною (мокрі циклони, водяні, пінні фільтри);
- пористі фільтри (тканинні, волокнисті);
- електрофільтри, в яких частинки осаджуються в неоднорідному електричному полі високої напруженості.

Доцільність використання того чи іншого типу пиловловлювача визначається необхідним ступенем очищення, а також конкретними технологічними умовами, що існують на підприємстві, його економічними можливостями.

Серед інших заходів екологічної безпеки у господарствах є:

1. Переведення котельні з мазуту на газ та встановлення систем нейтралізації оксидів азоту.
2. Заборона використання ціаністих солей у гальванічному виробництві.
3. Виділення твердих опадів гальванічних стоків.
4. Заміна загартованих олив у ковальському виробництві на водні розчини з полімерними добавками.

5. Використання фільтрів при очищенні оливи та охолоджуючих рідин у механічних цехах, у травильних ваннах гальванічного цеху.

При очищенні стічних вод транспортних та дорожніх підприємств найбільшого поширення набули процеси проціджування, відстоювання, обробки у полі дії відцентрових сил, фільтрування.

Проціджування реалізують у ґратах (вертикальних або похилих) із шириною пазів 15...20 мм. Осад видаляють вручну або механічно і потім обробляють. Зазвичай застосовують комбіновані ґрати-дробилки, які не тільки вловлюють великі частинки, а й подрібнюють їх до 10 мм і менше.

Відстоювання засноване на вільному осіданні (спливанні) домішок із щільністю більше (менше) густини води. Процес реалізують у пісковловлювачах, відстійниках і жируловлювачах.

Пісכולовки (використовуються для очищення стічних вод від частинок металу та піску розміром більше 0,25 мм) бувають горизонтальні з прямолінійним та круговим рухом води, вертикальні та аеровані.

Відстійники (використовуються для очищення стічних вод від механічних частинок розміром до 0,25 мм та нафтопродуктів) бувають горизонтальні, радіальні та комбіновані. При розрахунку відстійників визначають їх довжину та ширину для заданої витрати стічних вод.

Очищення стічних вод у полі дії відцентрових сил здійснюють у відкритих або напірних гідроциклонах та центрифугах. Відкриті гідроциклони застосовують виділення зі стічних вод великих домішок зі швидкістю осадження понад 0,02 м/с.

Фільтрування виконують для очищення вод від тонкодисперсних домішок з малою концентрацією як на початковій стадії, так і після застосування деяких методів фізико-хімічної та біологічної очистки, що супроводжуються виділенням у воду зважених речовин.

Найбільш поширені наступні види фільтрів:

- зернисті – насадки незв'язаних пористих матеріалів;

- мікрофільтри, фільтроелементи яких виготовляють із пористих матеріалів.

Для очищення стічних вод від оливо використовують як фільтрувальний матеріал пінополіуретан, який забезпечує ефективність очищення 97...99% при швидкості фільтрування до 0,01 м/с.

4.2 Охорона праці

Загальні вимоги прав робітників на охорону життя та здоров'я під час виконання трудових обов'язків, на безпечні, якісні та здорові умови роботи передбачені законодавством України, у тому числі Законом України «Про охорону праці», що був прийнятий Верховною Радою наказом № 2695-ХІІ від 14.10.92 р. [19]. Даний Закон, за сприянням відповідальних органів державної влади, регулює відносини між найманим працівником і роботодавцем у питаннях гігієни, безпеки праці та виробничого середовища; встановлює загальний порядок організації безпеки праці на підприємстві.

Організація робіт у ремонтно-механічних майстернях вимагає дотримання безлічі взаємозалежних норм і правил техніки безпеки та охорони праці.

Одним із найбільш навантажених виробничих вузлів у ремонтно-механічних майстернях є ділянки поточного ремонту. Такі робочі місця обладнані підйомниками для огляду техніки і оглядовими ямами. Для забезпечення максимальної безпеки проведення ремонтних робіт усі оглядові пристрої розроблені із максимальними заходами охорони праці. Особливу увагу потрібно звертати на техніку безпеки під час роботи на оглядовій ділянці з підйомником. Необхідно пам'ятати, що безпека роботи на підйомнику залежить не тільки від його конструкції, а й від правильних дій обслуговуючого робітника, а також водія транспортного засобу.

Кількість машин та агрегатів, що знаходяться на монтажному майданчику ремонтно-механічної майстерні, не повинна перевищувати

необхідної кількості для забезпечення проведення денних робіт. Усі вузли, агрегати та матеріали повинні зберігатися на стелажах та шафах. При використанні підвісних стелажів для забезпечення вимог техніки безпеки обов'язковим є використання надійного кріплення. Не рекомендується підлогове зберігання вузлів та агрегатів.

Конструкція обладнання повинна давати можливість виконання операцій виробничого характеру таким чином, щоб це було зручно для робітника. Положення рук та ніг працівника при виконанні даних операцій має відповідати фізіологічній будові людського тіла та має відповідати найменш стомлюючій позі.

Для виконання норм охорони праці та техніки безпеки на робочому місці проведення зварювальних робіт повинні відокремлюватися спеціальними захисними екранами від інших робочих місць. Такі екрани захищають інших робітників від шкідливого впливу випромінювання, що виділяються під час зварювання. Відповідно до вимог техніки безпеки таке обладнання має комплектуватися захисними чохлами та кожухами.

Якість освітлення робочого місця впливає на здоров'я працівника і продуктивність його праці. Впливаючи на очі, світло діє весь організм людини. При незадовільному освітленні зорова здатність ока знижується, і в людини можуть з'являтися короткозорість, опіки від світла, різь в очах і розвинути катаракта. Незадовільна освітленість часто є причиною виробничого травматизму.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Техніко-економічна оцінка визначається як сума затрат на виготовлення обладнання, загальну економічну ефективність вкладень та річні економічні ефекти.

Затрати на виробництво конструкції пристрою залежать від майстерні для виконання робіт. Оскільки роботи по розробці конструкції виконуються в

майстерні для ремонту машин і обладнання, для якої вона призначена, то затрати на виготовлення пристрою підраховуємо наступним чином [24]:

$$C_{\text{вк}} = C_{\text{од}} + C_{\text{вд}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{вв}} + C_{\text{вд}}, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{вд}}$ – вартість оригінальних деталей, грн;

$C_{\text{зп}}$ – повна зарплата, грн;

$C_{\text{вв}}$ – загальні витрати на виготовлення пристрою, грн;

$C_{\text{вд}}$ – вартість виготовлення деталей, грн;

До вартості купованих деталей включаємо і вартість деталей, які виконуються на замовлення (прокат, гайки).

Вартість виготовлення корпусних деталей:

$$C_{\text{вд}} = Q \cdot C_{\text{гд}}, \quad (4.2)$$

де Q – маса матеріалу, що використали на виготовлення корпусних деталей.

$C_{\text{гд}}$ – середня вартість 1 кг готових деталей.

Вартість виготовлення оригінальних деталей визначаємо за формулою:

$$C_{\text{од}} = C_{\text{зп п}} + C_{\text{мз}}, \quad (4.3)$$

де $C_{\text{зп п}}$ – заробітна плата працівників, що зайняті на розробці оригінальних деталей, грн.;

$C_{\text{мз}}$ – вартість матеріалу для оригінальних деталей, грн.

Заробітну плату $C_{\text{зп п}}$ підраховуємо за формулою:

$$C_{\text{зп п}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{д}} + C_{\text{соц}}, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{пр}}$ і $C_{\text{д}}$ – основна і додаткова зарплата працівників, грн.;

$C_{\text{соц}}$ – нарахування до єдиного фонду держстрахування, грн.

Економічну ефективність капітальних вкладень для виготовлення пристрою визначаємо за формулою:

$$E_c = \frac{E_z}{C_{\text{ч.кон}}}, \quad (4.5)$$

де E_z – річна економія від зниження собівартості при впровадженні пристрою, грн.;

$$E_z = (C_1 - C_2) \cdot N_z, \quad (4.6)$$

де C_1 і C_2 – собівартість продукції до і після капітальних вкладень, грн.;

N_2 – річна програма ремонту, шт.

Співставивши знайдену економічну ефективність із відповідними нормативами $E_n = 0,15$, бачимо, що $E_c > E_n$, а отже, капітальні вкладення є ефективними.

Строк окупності капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$O_2 = \frac{C_{ц.кон}}{E_2}, \quad (4.7)$$

Знайдені техніко-економічні показники зводимо до таблиці.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники розробки

Показники	Значення
Вартість корпусних деталей, грн.	3257,6
Вартість оригінальних деталей, грн.	450,8
Накладні витрати, грн.	19,48
Загальна вартість конструкції, грн.	3727,88
Програма зміцнення із застосуванням пристрою, шт.	500
Строк окупності, років	1,61

Висновки

1. Техніко-економічне обґрунтування результатів роботи свідчать про те, що термін окупності запропонованої технології склала 1,61 років при програмі зміцнення 500 свердл.