

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

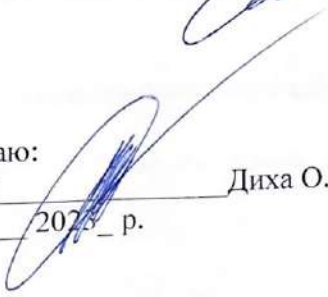
Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Зміцнення і підвищення стійкості технологічного оснащення  
дробоударною обробкою»

Шифр: МРТАМ 23.19072.000. ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВАм -22-1  В.В. Нечипоров

Керівник  д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

 2023 р.

Хмельницький, 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр  
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»  
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»  
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ

Диха О.В.

" 15 " жовтня 2023 р.     

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Нечипоров Вадим Вікторович

1. Тема проекту:

«Зміцнення і підвищення стійкості технологічного оснащення дробоударною обробкою»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 15 серпня 2023р. № 28

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 15.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови на технологію та устаткування дробостременевої обробки.
- 2) Річна програма ремонту деталей.
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огрунтування актуальності впровадження технології зміцнення інструмента
2. Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів про посилення стійкості інструментів
3. Експериментальні та теоретичні дослідження засобів посилення інструментів за допомогою обробки дрібними струменями
4. Обгрунтування конструктивного рішення пристрою для дробоструминної обробки інструменту
5. Організація робочої ділянки дробеструменної обробки

### 5. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2023р.


### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огрунтування актуальності впровадження технології зміцнення інструмента	1.11.2023	
2	Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів про посилення стійкості інструментів	15.11.2023	
3	Експериментальні та теоретичні дослідження засобів посилення інструментів за допомогою обробки дрібними струменями	1.12.2023	
4	Обгрунтування конструктивного рішення пристрою для дробоструминної обробки інструменту	5.12.2023	
5	Організація робочої дільниці дробеструменної обробки	15.12.2023	

Студент

  
Нечипоров В.В.

Керівник роботи

  
Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 89 сторінок, кількість рисунків – 32, таблиць – 8, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 15.  
Студент гр. МТВАм-22-1 Нечипоров В.В.

Тема «Зміцнення і підвищення стійкості технологічного оснащення дробоударною обробкою»

Дана магістерська дипломна робота спрямована на підвищення стійкості інструмента за допомогою методу поверхневої пластичної деформації шляхом дослідження та розробки технології дробоструминного зміцнення.

Для досягнення наміченої мети потрібно вирішити такі завдання:





1. Проаналізувати існуючі технології зміцнення та підвищення стійкості інструменту і розробити методи зміцнення твердосплавних інструментів;
2. Провести експериментальні дослідження щодо ефективності дробоструминного зміцнення твердосплавного інструменту, який використовується при обробці деталей з високоміцного чавуну з кулястим графітом;
3. Дослідити працездатність твердосплавного інструменту після дробоструминної механічної обробки високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці.
4. Розробити технологію та необхідне обладнання для проведення дробоструминної обробки інструменту.

**Перелік ключових слів:** дробоударна обробка, інструмент, твердий сплав, зносостійкість, чавун

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1.	ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ІНСТРУМЕНТА .....	7
2.	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРО ПОСИЛЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ.....	10
2.1.	Аналіз існуючих методів та засобів для поліпшення стійкості інструментів.....	10
2.1.1.	Використання фінішного плазмового зміцнення для інструментів.....	10
2.1.2.	Підвищення міцності інструментів через ванадування.....	14
2.1.3.	Підвищення довговічності твердосплавних ріжучих інструментів завдяки застосуванню покриттів.....	15
2.1.4.	Зміцнення різального інструменту методом електроерозії....	17
2.1.5.	Зміцнення ріжучих інструментів за допомогою лазерної обробки.....	18
2.1.6.	Підвищення стійкості інструменту за допомогою алмазного вигладжування поверхні.....	21
2.2.	Механізм процесу зношування та стійкості інструменту.....	22
2.3.	Прогнозування стійкості ріжучого інструмента.....	27
3.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОСИЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБРОБКИ ДРІБНИМИ СТРУМЕННЯМИ.....	30
3.1.	Опис методу посилення деталей машин за допомогою дрібної обробки.....	30

МРТАМ 23.19072.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Нечипоров		
Перевір.		Диха		
Н.контр.		Бабак		
Затвер		Диха		
Зміцнення і підвищення стійкості технологічного оснащення дробоударною обробкою			Літ.	Аркуш
			4	89
ХНУ, гр. МТВАм-22-1				

3.2. Дробоструминна обробка різального інструменту.....	42
3.3. Дослідження контактної взаємодії сферичного індентора при контакті із площиною.....	51
4. Обґрунтування конструктивного рішення пристрою для дробоструминної обробки інструменту.....	61
4.1. Обґрунтування потреби у створенні технології посилення пристрою для дробоструминної обробки.....	61
4.2. Вимоги до розробки.....	62
4.3. Структура та принцип роботи пристрою для дробоструминної обробки інструментів і деталей.....	62
4.4. Вибір оснащення та режимів обробки дробом для інструментів і деталей.....	66
5. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧОЇ ДІЛЬНИЦІ ДРОБЕСТРУМЕННОЇ ОБРОБКИ.....	69
5.1. Паспортизація робочого місця під час зміцнення на дробоструминній установці.....	69
5.2. Розробка комплексу організаційних та технічних заходів для функціонування дільниці по зміцненню.....	70
6. АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЦІЛЕСПРЯМОВАНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДРОБЕСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ.....	72
6.1 Аналіз Виробничих умов.....	72
6.2 Продукція.....	73
Висновки.....	79
Список літератури.....	81
Додатки.....	83

## ВСТУП

Підвищення продуктивності та ефективності механічної обробки сильно залежать від використаного різального інструменту. Більшість ріжучих інструментів, таких як свердла, зенкери, розгортки, кінцеві фрези і т.д., які використовуються для створення отворів і контурної обробки, виготовляються зі швидкорізальних сталей. Досвід у галузі механічної обробки показує, що продуктивність і тривалість служби інструменту залежать не лише від параметрів обробки і оброблюваних матеріалів, але також від властивостей матеріалу інструменту, які, в свою чергу, значно впливають на структуру та тонку структуру (субструктуру) швидкорізальних сталей, які використовуються для виготовлення ріжучих інструментів. Однією з ключових задач матеріалознавства та технології обробки є пошук та розробка таких структурних станів і технологій зміцнення, які забезпечують високі показники продуктивності різального інструменту, його стійкість до зношування, теплостійкість (червоностійкість) та тривалість служби. Удосконалення якості різального інструменту за допомогою підвищення легування матеріалу призводить до зростання витрат на швидкорізальні сталі та інструмент, і це вимагає постійного пошуку методів виготовлення ріжучої частини, які б забезпечували підвищення його ріжучих характеристик. Тому покращення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей шляхом зміни їх структури і розробки на цій основі різальних інструментів з підвищеною стійкістю до зношування і продуктивністю є однією з основних пріоритетних задач у галузі матеріалознавства та виробництва інструментів.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ІНСТРУМЕНТА

Підвищення стійкості металорізального інструмента стає актуальною проблемою в галузі машинобудування через все більше використання нових конструкційних матеріалів з унікальними фізико-механічними властивостями. Це вимагає розробки нових методів зміцнення, які базуються на нетрадиційних підходах. До таких методів відносяться фізико-хімічні методи модифікації структури інструментальних матеріалів, включаючи процес зміцнюючої обробки поверхневим пластичним деформуванням, а також іонно-плазмові технології нанесення зносостійких покриттів. Зростаючі вимоги до продуктивності та якості виробів, а також до процесу механічної обробки в цілому, обумовлюють необхідність зниження та регулювання характеристик зношування інструменту та підвищення його стабільності для досягнення високих експлуатаційних показників. Це робить актуальним удосконалення існуючих технологій зміцнюючої обробки та розробку нових методів підвищення працездатності робочого інструменту.

Традиційні методи інженерії поверхонь для підвищення експлуатаційних характеристик та властивостей матеріалів практично вичерпані. Ця задача не може бути вирішена шляхом простої модифікації вихідного складу матеріалу, наприклад, об'ємним легуванням, хоча це поліпшує деякі експлуатаційні показники сталей та сплавів. Такий підхід, орієнтований на використання дефіцитних матеріалів, таких як ванадій, вольфрам, молібден, хром та нікель, не завжди є прийнятним. У багатьох випадках досягнення цілі щодо підвищення ресурсу конкретного типу інструменту передбачає застосування методів поверхневого зміцнення. За сучасними уявленнями про природу технічного ресурсу, підвищення рівня зносостійкості деталей машин, механізмів та інструменту пов'язано не лише зі збільшенням твердості контактних поверхонь, але й з можливістю управління їх фізико-хімічними властивостями в залежності від інтенсивності механічного зносу та зміни характеру навантаження.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасному машинобудівному виробництві надзвичайно важливим є підвищення інтенсивності процесу металообробки, яке передбачає вдосконалення властивостей інструментальних матеріалів. Ця завдання є комплексним і вимагає проведення численних організаційно-технічних заходів - від виробництва інструментальних матеріалів до удосконалення та оптимізації умов експлуатації інструменту. Підвищення ріжучих і міцнісних властивостей відомих марок сталей і сплавів дозволяє збільшити ефективність використання інструменту, виготовленого на їх основі, і знизити витрати інструментального матеріалу завдяки застосуванню методів зміцнюючої обробки. Науково обґрунтований вибір найбільш ефективних технологій зміцнення неможливий без накопичення експериментальних і теоретичних даних про зміну структури і властивостей модифікованих поверхневих шарів. Незважаючи на досягнуті успіхи у вивченні процесів структуроутворення при модифікації поверхні і інтерес підприємств до ресурсозберігаючих технологій, сучасна промисловість не має систематизованих і обґрунтованих рекомендацій щодо використання методів зміцнення та комплексних методик вибору режимів зміцнюючої обробки. Це ускладнює можливість повного використання потенційних можливостей багатьох високоефективних зміцнюючих процесів у конкретних умовах машинобудівного виробництва, зменшує практичну цінність наявних наукових та практичних розробок у цій галузі і обмежує їх використання. Метою даної роботи є підвищення стійкості інструмента за допомогою методу поверхневої пластичної деформації шляхом дослідження та розробки технології дробоструминного зміцнення.

Для досягнення наміченої мети потрібно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі технології зміцнення та підвищення стійкості інструменту і розробити методи зміцнення твёрдосплавних інструментів;
2. Провести експериментальні дослідження щодо ефективності дробоструминного зміцнення твёрдосплавного інструменту, який

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується при обробці деталей з високоміцного чавуну з кулястим графітом;

3. Дослідити працездатність твердосплавного інструменту після дробостриминної механічної обробки високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці.

4. Розробити технологію та необхідне обладнання для проведення дробоструминної обробки інструменту.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРО ПОСИЛЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТІВ**

### **2.1. Аналіз існуючих методів та засобів для поліпшення стійкості інструментів**

Під поняттям "стійкість інструменту" розуміється загальний час (у годинах) функціонування інструмента без необхідності його заточування або підшліфовування при певних умовах різання. Наприклад, токарні різці, які складаються з різних інструментальних матеріалів, мають стійкість в діапазоні від 30 до 90 годин. Стійкість інструмента визначається фізико-механічними характеристиками матеріалів інструменту та заготовки, режимом різання, геометрією інструменту та умовами обробки. Найбільший вплив на стійкість має швидкість різання [2].

#### **2.1.1. Використання фінішного плазмового зміцнення для інструментів**

Для збільшення тривалості служби ріжучих інструментів та деталей технологічного обладнання в промисловості широко застосовуються відомі технології нанесення стійких покриттів, такі як вакуумне іонно-плазмове напилення, електроіскрове легування, фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ), а також технології модифікації поверхні, такі як лазерне та плазмове закалювання. Проте, при використанні лазерного та плазмового закалювання в атмосферних умовах можливе окислення оброблюваної поверхні. Електроіскрове легування не дозволяє наносити тонкоплівкові покриття товщиною всього кілька мікрометрів. При вакуумному іонно-плазмовому напиленні температура оброблюваних виробів під час нанесення покриття коливається в діапазоні від 250 до 500°C, і товщина покриття значно залежить від геометрії виробу та його розташування відносно випарника. Нещодавно було опубліковано багато матеріалів, що розглядають застосування алмазних і алмазоподібних плівок для посилення стійкості ріжучих інструментів та деталей технологічного обладнання. Навіть в Німеччині був розроблений

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стандарт VOI 2840, який стосується алмазоподібних покриттів. Проте втілення цих процесів базується на використанні високозатратного вакуумного обладнання. Фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ) інструменту та технологічної оснастки створює можливість наносити алмазоподібні тонкоплівкові покриття товщиною до 3 мікрметрів без потреби в вакуумному середовищі, при атмосферному тиску. Ця технологія відноситься до нових промислових методів. Процес підвищення міцності інструментів, оснастки та деталей машин відбувається при інтегральній температурі нагріву виробів на рівні близько 100°C, і це не призводить до зміни вихідного стану робочих поверхонь.

Основним принципом цієї технології є розпад парів рідких технологічних матеріалів, які подаються в дуговий плазмотрон, та подальше проведення плазмохімічних реакцій, що призводять до формування покриття на виробі. Для отримання алмазоподібних покриттів на основі оксікарбонітрида кремнію використовуються металоорганічні і органічні сполуки в рідкому стані як вихідні матеріали. Розходи технологічних речовин при безперервній роботі обладнання не перевищують 0,5 літрів на рік. Для створення плазми в дуговому плазмотроні використовується аргон, оскільки він забезпечує тривалу роботу плазмотрона, при цьому стійкість катодного і анодного вузла плазмотрона при ФПЗ може досягати приблизно 1000 годин безперервної роботи.

Однією з ключових особливостей ФПЗ, пов'язаних із швидким охолодженням осадженого покриття і наявністю аморфних складових, є аморфний стан наносимого покриття, яке відрізняється високою твердістю (до 53 ГПа), великою питомою електричною опором (1010 Ом·м), низьким коефіцієнтом тертя та хімічною стійкістю. Важливо відзначити, що аморфні матеріали не мають дефектів, які є характерними для кристалічних речовин. У них відсутні межі зерен та дислокації, їх структура є однорідною, дифузія через вакансії ускладнена, і вони властиві ізотропії. Аморфні покриття використовуються як бар'єрні шари, що запобігають швидкій дифузії, а також

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як пасивуючі шари, які підвищують стійкість до корозії матеріалів і запобігають корозійному розтріскуванню під впливом напруги і водневого охрупчування. Покриття, нанесене за допомогою ФПЗ, відтворює профіль базової поверхні. На рисунку 2.1 показана поперечна мікроскопічна зйомка, отримана за допомогою багатофункціонального скануючого (растрового) мікроскопа ISM-6460LV. У покритті відсутні мікротріщини, непрямоті, порожнечі та інші дефекти. Воно утворює зміцнюючий шар у вигляді оптично прозорої плівки, яка на полірованій поверхні викликає інтерференційну картину з різнобарвними відтінками від фіолетового-блакитного до зелено-червоного.

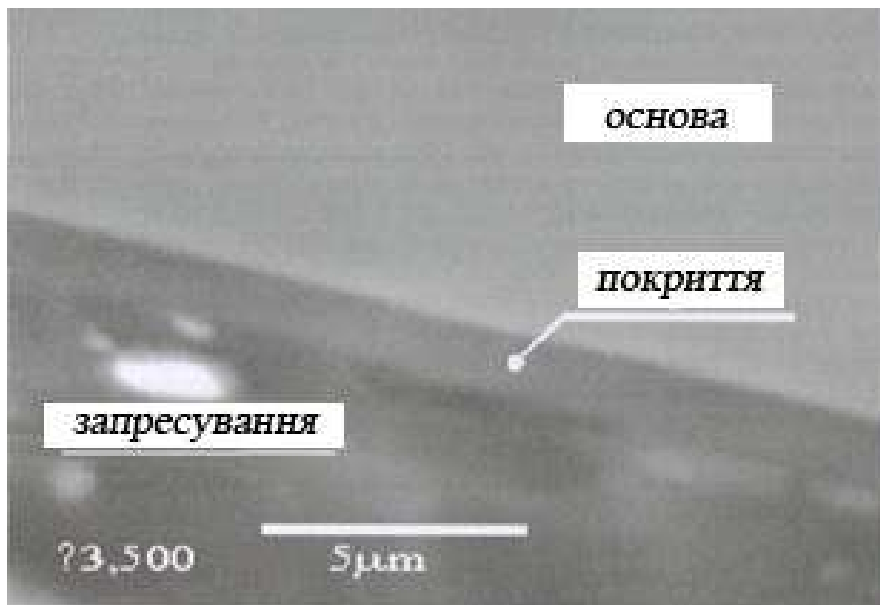


Рис. 2.1. Поперечний шліф зразка з покриттям фінішного плазмового зміцнення (x3000)

Порівнюючи Фінішне плазмове зміцнення (ФПЗ) з іншими методами, такими як іонно-плазмове напылення, лазерне та електроіскрове зміцнення, епіламірування, або нанесення кластерних покриттів, можна виділити наступні переваги ФПЗ:

- Висока стабільність та відтворюваність зміцнення завдяки подвійному ефекту - від нанесення зносостійкого покриття та структурних змін у тонкому приповерхневому шарі.
- Відсутність змін параметрів шорсткості поверхні після зміцнення.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Мінімальний нагрів під час обробки (не більше 100...120°C), що не призводить до деформації деталей і дозволяє зміцнювати інструментальні сталі з низькою температурою відпуску.
- Можливість зміцнення локальних об'ємів деталей як по глибині, так і по площі, зі збереженням властивостей матеріалу в інших обсягах.
- ФПЗ створює стискаючі залишкові напруження на поверхні, які підвищують втомну міцність виробу (на відміну від операції шліфування, де виникають розтягуючі напруження, що знижують втомну міцність).



Рисунок 2.2 – Приклади застосування ФПЗ для інструментів.



Рис. 2.3. Фінішне плазмове зміцнення різця

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рис. 2.4. Фінішне плазмове зміцнення сверла



Рис. 2.5. Фінішне плазмове зміцнення

### 2.1.2. Підвищення міцності інструментів через ванадування

Ванадування є важливим процесом у виробництві інструментів з низьколегованих швидкорізальних сталей [11]. Цей процес включає в себе використання порошкових сумішей, які містять наступні компоненти: ферованадій (60%), хлористий амоній (7%), оксид алюмінію та інші складові. Однак такий склад має обмежену глибину дифузійного шару, що ускладнює процес заточування інструментів.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення кращих результатів використовують склад суміші, що включає: деревесновугільний карбюрізатор (10-20%), ферованадій (35-45%), хлористий амоній (0,5-2%) та оксид алюмінію, серед інших компонентів.

Процедура зміцнення передбачає нагрівання інструменту до температури 1040-1050°C у порошковій суміші, яка складається з 20% свіжого карбюрізатора, 25% ферованадію, 25% феромолібдену, 1% хлористого амонію, та інших складових. Частинки ферованадію дробляться до гранул розміром 0,1-0,3 мм. Суміш ретельно перемішують і рівномірно розподіляють у спеціальному контейнері, на дно якого покладено шар 20-30 мм, на який розташовують інструмент. Потім додають ще один шар 25 мм і розміщують новий ряд інструментів, і так далі. Ящик герметизують сумішшю шамотної глини та рідкого скла. Після 6 годин витримки, ящик охолоджують при нормальній температурі, після чого його розгерметизовують.

Цей процес ванадування був успішно використаний для виробництва інструментів зі сталі Р6М5. Глибина зміцненого шару склала 1,6 мм. Після дифузійної обробки інструмент проходив гартування при температурі 1200°C, а потім триразовий відпуск при 560°C, результатом чого була досягнута твердість на рівні 67-68 HRC та збільшена стійкість інструменту в 3 рази [22].

### **2.1.3. Підвищення довговічності твердосплавних ріжучих інструментів завдяки застосуванню покриттів**

Однією з головних характеристик, на які звертають увагу при роботі з ріжучими твердосплавними інструментами, є їхнє опір абразивному зносу, міцність, твердість в умовах нагріву та температурна стійкість. Для підвищення ефективності роботи інструментів розроблено різноманітні захисні покриття, спеціально призначені для використання в різних галузях (див. Таблицю 2.1).

Таблиця 2.1

Міцні покриття для зміцнення різального інструменту

Покриття	Колір	Структура	Товщина	Мікротвердість	Температурна	Коефіцієнт
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	
						Арк.
						16

		покриття	мкм	HV	стійкість, °C	тертя
1	2	3	4	5	6	7
<i>TiN</i>	золотий	одношарове	2...3	2600.0	600.0	0,40
<i>TiCN</i>	сіро-блакитний	градієнтне	2...4	3000.0	400.0	0,40
<i>TiCN</i>	червоний	градієнтне	2 ... 3	3000.0	400.0	0,40
<i>TiAlN</i>	темно-сірий	одношарове	2...4	3000.0	800.0	0,40
<i>AlTiN</i>	ясно-сірий	одношарове	2...4	3300.0	900.0	0,40
<i>AlTiN</i>	чорне	багатошарове	2...4	3500.0	90.0	0,40
<i>Cz N</i>	металічний	одношарове	3...5	2200.0	700.0	0,40
<i>TiSiN</i>	червоно-коричневий	багатошарове	2...3	3600.0	1100.0	0,82

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7
<i>TiSiN</i>	фіолетовий	багатошарове	2...4	3600.0	1100.0	0,40
<i>Altin</i>	чорне	багатошарове	2...3	3300.0	800.0	0,40
<i>Alersin</i>	срібний	багатошарове	3...5	3000.0	1100.0	0,41
<i>Altin+DLC</i>	чорний	градієнтне	2...3	3300.0	900.0	0,21
<i>DLC</i> й	сірий	одношарове	1...1,5	6000.0	700.0	0,10
<i>DLC</i> й	сірий	багатошарове	1...3	2600.0	350.0	0,10

Найкращі результати досягаються, коли інструмент і захисне покриття підбрані оптимально для конкретних матеріалів і режимів механічної обробки. Саме тому був розроблений спеціальний набір захисних покриттів, індивідуально призначених для кожного з технологічних процесів різання, таких як свердління, фрезерування, нарізування різьби та армування.

#### 2.1.4. Зміцнення різального інструменту методом електроерозії

Зміцнення різальних інструментів, виготовлених зі швидкорізальної сталі, за допомогою електроерозії, проводиться за допомогою спеціалізованого обладнання, такого як установка ЕЛУ1.



Рис. 2.6. Електроно-променева установка електроерозійного зміцнення різального інструменту

Принцип функціонування установки ЕЛУ1 базується на процесі перенесення твердосплавного матеріалу на різучі поверхні інструменту під час іскрового розряду. До зміцнюючого інструменту, який виступає як анод, підключають через струмопідводи обкладки накопичувальних ємностей генератора установки ЕЛУ1, які мають негативний заряд. До твердосплавного електроду, закріпленого в електродотримачі вібратора, підключають обкладки накопичувальних ємностей з позитивним зарядом.

Електрод піддається коливальному руху, зумовленому електромагнітами вібратора, відносно зміцнюючого інструменту. Коли відстань між електродом і інструментом стає настільки мала, що відбувається пробій, іскровий розряд виникає між ними. Цей розряд призводить до нагріву і перенесення матеріалу електрода на поверхню зміцнюючого інструменту, переважно у рідкому стані.

Внаслідок такого процесу стійкість різучого інструменту, який був зміцнений методом електроерозії, збільшується в 1,5 - 2 рази.

### 2.1.5. Зміцнення різучих інструментів за допомогою лазерної обробки

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміцнення ріжучого інструменту виконується за допомогою імпульсного опромінення робочих кромок інструмента на спеціальній лазерній технологічній установці ЛПУ-2П. Цей процес дозволяє підвищити стійкість інструменту від 1,5 до 3 разів.

Лазерне поверхнєве зміцнення стає завершальним етапом для інструменту, який пройшов повну механічну та термічну обробку. Під впливом лазерного випромінювання відбувається швидке нагрівання металу в області аустенітного стану, без значного оплавлення робочих кромок інструмента, а потім швидке охолодження металу. В результаті цього утворюється поверхневий шар товщиною 60 - 80 мкм з мікротвердістю 1100 - 1200 Н/мм<sup>2</sup>.

Зміцнений шар має особливу дисперсну аустенитно-мартенситну структуру. На межі зміцненого шару і базового металу існує тонка зона відпуску з мікротвердістю, трохи меншою, ніж мікротвердість базового металу.

Наявність такої зони позитивно впливає на стійкість інструменту. Товщина зміцненого шару в області лазерного імпульсного гартування залежить від щільності, потужності лазерного випромінювання та тривалості імпульсу.

Починаючи з моменту виникнення волоконних лазерів, лазерне зміцнення стало доступним для розширення застосування в інструментальних процесах на різних підприємствах. Досвід у зміцненні інструменту продемонстрував можливість використання невеликопотужних волоконних лазерів для цієї мети.

Зміцнення проводилось з використанням лазерів, таких як "Комета-2", "ЛТ1-2", "МТЛ-2", "ЛС-2", "YLR-150/1500-QCW-AG". Металографічні дослідження виконувалися з використанням приладу "НЕОФОТ-2", а мікротвердість визначалася за допомогою приладу "ПМТ-3".

Лазерне зміцнення інструментальних сталей призводить до появи поверхневого шару зі зміненою структурою. Глибина зміцнення регулюється

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметрами поверхневої обробки. Після отримання зони оплавлення на поверхні сталі 9ХС спостерігається значне підвищення мікротвердості до 1200 Нм 50 і шорсткості поверхні до 60 мкм. В зміцнених аналогічним чином пильних дисків експлуатаційні характеристики підвищуються в 2 - 5 разів.

Дослідження впливу режимів обробки пильних дисків під час обробки деревини показали, що чим більше глибина зміцнення, тим скромнішими є показники підвищення стійкості пильних дисків. Існує оптимальна глибина зміцнення дисків (див. Рис. 2.7), яка дозволяє отримувати максимальні результати ефективності роботи, перевищуючи штатні показники в приблизно 5 разів. Подібну динаміку можна пояснити надмірним охрупчуванням зуба пильного диска при його зміцненні на глибину понад 0,5 мм через ударний механізм навантаження під час роботи.

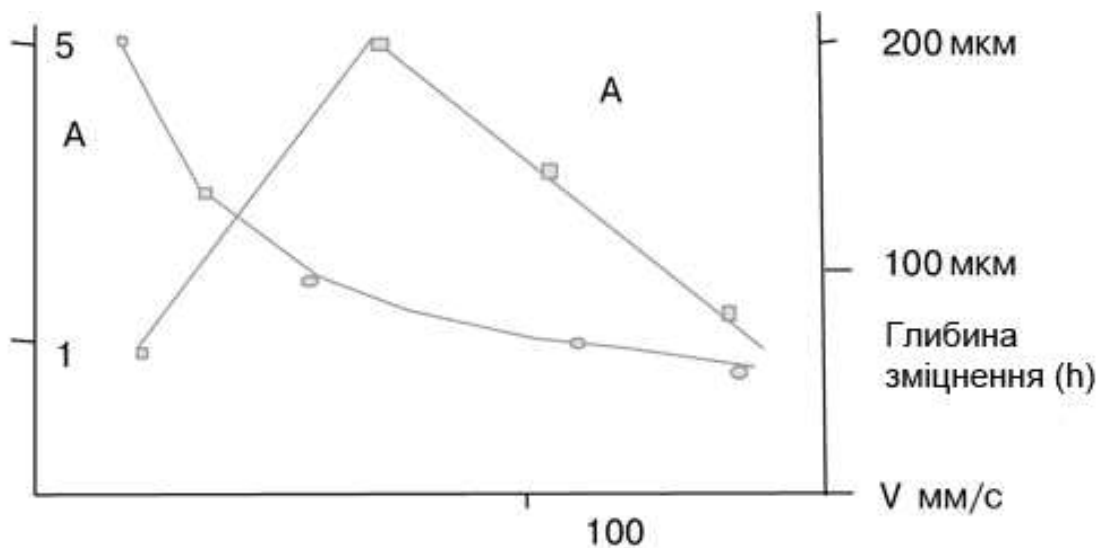


Рис. 2.7. Зміна глибини зміцнення і працездатності пильних дисків від швидкості обробки

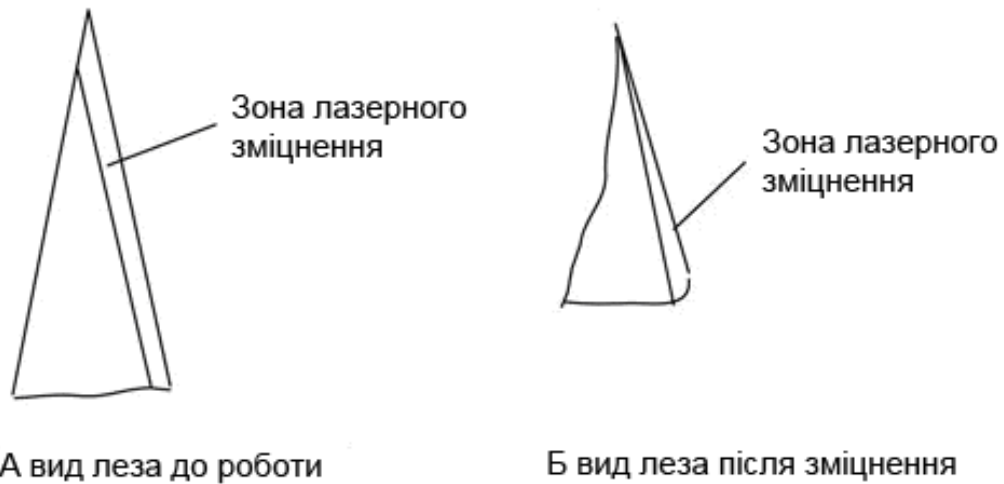


Рис. 2.8. Зміни геометрії леза після експлуатації

Проводилися тестові випробування впливу лазерного опромінення на працездатність звичайного слюсарного інструменту, який виготовлено з низьколегованих сталей (саморобні стамески, сокири, ножі, пилки, леза рубанків). Результати випробувань інструменту для обробки дерева та загального слюсарного призначення показали приблизно однакове підвищення стійкості інструменту під час виробництва столярних і слюсарних робіт. В цілому їх працездатність також зросла в 5 разів. Варіація режимів зміцнення цього типу інструменту полягала в розробці режимів, які запобігають оплавленню ріжучої кромки інструменту. Відзначалася різниця в ефективності роботи ножів в залежності від виконуваних операцій. Під час обробки деревини, ножі зберігали свою працездатність на довший час. Дослідження зміни форми леза показало, що зношування металу при роботі інструмента відбувається в основному з необробленої сторони, тому кромка залишалася гострою на тривалий період і навіть ставала гострішою порівняно з вихідним станом. На рисунку 2 наведено зміну форми леза після лазерного зміцнення. Можна зробити висновок, що інструмент проявляє властивості самозаточення.

Також були зміцнені зразки інструменту, такі як ножиці, покрівельні ножиці і кусачки. Після зміцнення було помітне значне покращення робочих характеристик інструменту, і стали можливими операції з розрізання товстого армованого металу. Ножицями можна було легко різати тонку нержавіючу

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сталь, бронзу, мідь, і покрівельні ножиці здатні були різати 4 мм латунь. Перед тим, як інструмент вимагав заточки, він працював принаймні у 2 рази довше (точних цифр не вдалося отримати через нерегулярності виконання операцій).

### **2.1.6. Підвищення стійкості інструменту за допомогою алмазного вигладжування поверхні**

Одним із найбільш ефективних методів для зменшення шорсткості та підвищення щільності поверхневого шару є обробка поверхневого пластичного деформування (ППД). Зокрема, процес алмазного вигладжування (АВ) застосовується як фінішна обробка робочих поверхонь різальних інструментів. Це дозволяє знизити шорсткість вихідної поверхні, підвищити міцність поверхневого шару, зменшити пористість зносостійкого покриття та створити стискаючі залишкові напруження. Все це призводить до підвищення стійкості круглих різців в 2,5 рази.

Дослідження зносостійкості круглих різців, зміцнених за допомогою АВ при оптимальних режимах обробки, було проведено на токарному верстаті моделі 16К20М. В експерименті вивчалися показники зносостійкості круглих різців на їх задній поверхні. Досліди включали круглі різці зі швидкорізальної сталі після шліфування з  $Ra = 0,16$  мкм, круглі різці після алмазного вигладжування з  $Ra = 0,08$  мкм, круглі різці з TiN покриттям з  $Ra = 0,38$  мкм, і круглі різці з TiN покриттям, зміцнені алмазним вигладжуванням на оптимальних режимах з  $Ra = 0,1$  мкм. Після обробки задньої поверхні, різці востро затачувались. Передній кут  $\gamma$  круглого різця в усіх випадках складав  $15^\circ$ . Різці кріпилися в різцетримачі верстата і використовувалися для обробки вала діаметром 50 мм, виготовленого з конструкційної сталі 45. Обробка відбувалася при таких режимах: швидкість різання 40 м/хв, подача 0,025 мм/об. Величина зносу, що вимірювалася за допомогою мікроскопа, складала довжину зношеної ділянки задньої поверхні  $W$ . Похибка вимірювання становила 1,72 мкм. Результати дослідження величини зносу  $W$  відносно пройденого шляху  $L$  різця наведені на рисунку 2.9.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

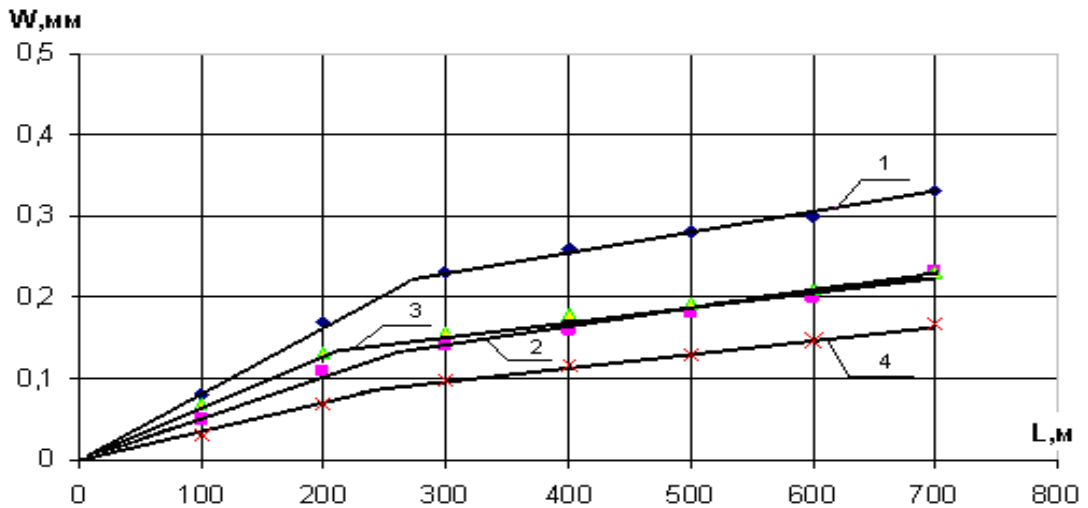


Рис. 2.9. Зношення задньої поверхні різця  $W$  в залежності від шляху різання  $L$ :

1 - шліфовані круглі різці з швидкорізальної сталі P18; 2 - круглі різці, зміцнені алмазним вигладжуванням після шліфування; 3 - круглі різці, покриті зносостійким нітридним покриттям; 4 - круглі різці, покриті зносостійким TiN покриттям і оброблені алмазним вигладжуванням

З кривих зносу видно (рис. 2.9), що на стадії прироблення різці, які були оброблені алмазним вигладжуванням, мають менший знос. Зниження величини зносу під час прироблення досягається завдяки більшій увазі до процесу обробки, зміцненню, та зниженню пористості покриття після алмазного вигладжування. Дослідження зносостійкості показали, що алмазне вигладжування дозволяє знизити величину зносу під час прироблення і тим самим підвищити стійкість круглих різців з TiN покриттям в 2-2,5 рази.

## 2.2. Механізм процесу зношення та стійкості інструменту

Під час обробки металу, енергія виділяється внаслідок тертя та втрати тепла. Ці фактори надають інструменту велике навантаження на поверхню та високу температуру. Температура зростає під впливом тиску та тертя на ріжучій кромці, коли стружка рухається на високій швидкості по поверхні інструменту.

Залежно від наявності твердих частинок в мікроструктурі та умов обробки (наприклад, обробка переривчастим різанням), сили різання можуть

варіювати. Тому різальний інструмент повинен мати стійкість до високих температур, високу міцність, зносостійкість та твердість.

У протягом останніх півстоліття було проведено великий обсяг досліджень та розробок з метою постійного поліпшення характеристик різального інструменту.

Основним показником ступеня зносу практично всіх інструментальних матеріалів є температура під час обробки. На жаль, встановлення точних значень параметрів для таких обчислень є важким завданням. Проте, експериментальні виміри служили основою для практичних досліджень.

Загалом, вважається, що увесь тепловий викид, що виникає під час різання, перетворюється в тепло, і 80% цього тепла виходить разом із стружкою (хоча точні відсотки можуть варіюватися в залежності від швидкості різання). Отже, близько 20% залишкового тепла падає на ріжучий інструмент. Навіть при обробці м'яких сталей, температура інструменту може досягати більше 550°C, і це максимальна температура, яку може витримати швидкорізальна сталь (HSS) без втрати твердості. Різання твердих сталей інструментом з кубічного нітриду бору (CBN) може привести до досягнення температур інструменту та стружки понад 1000°C.

Для збільшення терміну служби різальної кромки використовуються високоефективні тонкоплівкові покриття, які зменшують теплове навантаження без втрати вимог до геометричних розмірів готового виробу. Водночас це дозволяє знизити витрати на виробництво та використовувати мастильні матеріали. Проте вид покриття визначається в залежності від типу і причини зносу інструменту.

Трибологія (технологія і наука, що вивчає взаємодію поверхонь, які знаходяться у відносному русі), розглядає два основних фактори, що впливають на знос - це стан поверхні і матеріал сплаву.

Поверхнєве спрацювання. Використання покриттів особливо ефективно для розв'язання проблем зносу поверхонь, таких як адгезійний та абразивний знос.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адгезійний знос пов'язаний з процесами зчеплення (зварювання) окремих мікрофрагментів поверхонь "інструмент - стружка" під впливом високого тиску і температури при неперервному переміщенні стружки по поверхні інструменту, що сприяє утворенню зон зварювання під тиском. Шорсткість поверхні інструменту сприяє утворенню таких зон. Якість обробки поверхні важлива при зчепленні. Хоча поверхня сталі може здаватися гладкою, дослідження під мікроскопом показує топографію поверхні з її гребінцями та впадинами. Дрібні частинки оброблюваного матеріалу можуть прилипати до подряпин та пошкоджень на поверхні інструменту, що з часом призводить до помітного зчеплення.

Абразивний знос виникає через наявність твердих частинок у оброблюваному матеріалі, які проникають в поверхню інструменту. Ці частинки, такі як карбіди, завдають шкоди інструментальній сталі завдяки їхній високій твердості. Крім того, пошкодження сталевій поверхні сприяють інші фактори, такі як вироби зварного сполучення, труби, задирки та наклепи.

У більшості випадків, ефективний спосіб зменшення механізмів адгезійного і абразивного зносу полягає у використанні покриттів. Створення надзвичайно твердого поверхневого бар'єру між інструментом і оброблюваним матеріалом захищає поверхню і запобігає зчепленню. Висока щільність покриття після нанесення допомагає запобігти проникненню твердих частинок матеріалу в поверхню сплаву та її пошкодженню.

Крім того, покриття мають менший коефіцієнт тертя, ніж загартована сталь. Тим не менш, тонкі плівкові покриття не можуть повністю захистити основний профіль поверхні, тому критичні зони проходження металу потребують полірування перед нанесенням покриття. Нанесення щільного покриття після полірування забезпечить захист внутрішнього шару від абразивного та адгезійного зносу.

Знос сплаву. Проблеми зносу сплаву, включаючи втомний руйнування, термічні тріщини, ламання та пластичні деформації, завжди є складними для вирішення.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ламання, втомне руйнування та пластичні деформації вказують на необхідність використання більш міцного сплаву (навпаки, більшого за твердість). Коли інструмент ламається внаслідок втоми або пластичної деформації, проблему не завжди можна вирішити лише за допомогою покриття.

Пластична деформація виникає, коли стискуючі зусилля під час обробки виявляються занадто великими і деформують сам інструмент. Єдиним шляхом вирішення проблем втоми та пластичної деформації є використання більш твердого сплаву або зниження тиску під час обробки.

Термічне розтріскування. Термічне розтріскування сплаву виникає внаслідок видалення тепла під час процесу обробки. Застосування покриттів може значно знизити коефіцієнт тертя, захищаючи поверхню та створюючи бар'єр між взаємодіючими елементами, що помітно зменшує термічне напруження. Покриття також сприяють скороченню використовуюваного об'єму охолоджувача, що непрямо впливає на зниження витрат.

Знос і стійкість інструменту. Типи зносу інструменту можна розділити на наступні категорії: знос задньої поверхні, канавочний знос, кратерний знос, округлення кромки, пошкодження кромки, розтріскування кромки та невіправний розрив.

Стійкість інструменту є поняттям, яке визначається індивідуально для кожного випадку, враховуючи матеріал заготовки та процес різання. Один зі способів розрахунку кінцевої стійкості інструменту полягає у визначенні максимально прийнятної зносу задньої поверхні.

Математично стійкість інструменту можна виразити за допомогою формули Тейлора для передбачення стійкості. З практичної точки зору, для зменшення надмірного зносу інструменту та зниження температури, слід звернути увагу на три ключові аспекти: основу інструменту, покриття та підготовку кромки. Кожен з цих аспектів може визначати успішність або неуспішність операції. Вони разом з правильною стружколомом і кутовим

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

радіусом визначають придатність різального інструменту до конкретної заготовки або операції. Поєднання цих параметрів гарантує збільшення стійкості інструменту, що в свою чергу призводить до підвищення ефективності та надійності процесу обробки.

Різальний інструмент з основою з карбіду вольфраму поєднує в собі високу твердість та міцність, що робить його ідеальним для різання. На сьогодні виробники різального інструменту мають можливість створювати основу, комбінуючи частинки вольфраму різного розміру від 1 до 5 мікрон. Розмір частинок має велике значення для процесу обробки. Чим менший розмір частинок (субмікронні), тим вища стійкість до зносу, і навпаки, більші частки мають більшу міцність.

Підготовка кромки. В багатьох випадках, підготовка кромки визначає різницю між успіхом і невдачею процесу обробки. Параметри підготовки кромки повинні відповідати типу операції, для якої використовується інструмент. Наприклад, для високошвидкісної обробки сталі, потрібні кромки із зовсім іншою геометрією, ніж для грубої обробки.

Для розрізного різання потрібні кромки з підсиленою ріжучою кромкою або з Т-подібною ріжучою кромкою. Навпаки, пластинам для обробки нержавіючої сталі та жароміцних сплавів потрібна мінімальна підготовка та гострі кромки через їхню схильність до утворення наростів на кромці. Для обробки алюмінію також необхідні пластини з гострою кромкою. Геометрично, профіль кромки рівномірно збільшується по циліндричній поверхні в осьовому напрямку. Напряму вигину нагадує спіраль. Однією з переваг спіральної конструкції є більш гладке врізання, яке зменшує коливання та покращує якість поверхні.

Крім того, спіральна кромка дозволяє витримувати великі навантаження під час різання, що збільшує об'єм видаленого металу і знижує тепловиділення.

### 2.3. Прогнозування стійкості ріжучого інструмента

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Унаслідок внутрішнього складу і процесу виробництва, твердосплавні пластини виявляють різницю в фізико-хімічних характеристиках, що призводить до значного розкиду зносостійкості. Навіть серед пластинок одного типу, але з різних партій виробництва, зносостійкість може відрізнятись вдесятеро, а всередині однієї партії - в кілька разів. Навіть у випадку однієї пластинки ріжучого інструменту, різні частини можуть мати різні показники зносостійкості [24].

Методи прогнозування терміну служби різальних інструментів можна поділити на три основні групи.

Перша група включає методи, які базуються на вимірюванні певних параметрів під час процесу різання, таких як термо-ЕРС, сила різання та інші, пов'язані зі стійкістю інструмента. Ці методи вимагають проведення короткочасного процесу різання з використанням даного інструменту в умовах, близьких до реальних. Головним недоліком цієї групи методів є витрати часу, праці та матеріалів на проведення експериментів з різання.

Друга група методів базується на різних теоретичних моделях зношування ріжучих інструментів. Аналітичні методи прогнозування позбавлені недоліків, які притаманні першій групі, але формули для розрахунку терміну служби часто містять невизначені параметри або важкі для визначення величини.

Третя група методів використовує зв'язок стійкості інструмента з фізичними властивостями матеріалу інструменту, вимірюваними безпосередньо, без проведення процесу різання. Методи цієї групи досить легко і швидко виконуються за допомогою загального або спеціального обладнання.

Методи прогнозування терміну служби різальних інструментів, які базуються на використанні параметрів, що характеризують матеріал інструменту, розраховуються на основі розбіжності чисельних значень фізико-хімічних властивостей матеріалу інструменту в залежності від коливань його складу, структури та параметрів виробництва. Ці методи надають інформацію,

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідну для прогнозування до початку процесу різання, наприклад, на стадії виробництва різального інструменту.

Існують різні підходи до впровадження таких методів прогнозування. Наприклад, Е.С. Горкунов [16] вказує, що структурні зміни в твердих сплавах впливають як на міцність, так і на магнітні властивості, і вважається, що за магнітними характеристиками можна оцінити не тільки твердість та межу міцності, але і спеціальні експлуатаційні характеристики, такі як стійкість різального інструменту. При обробці вуглецевої сталі У7 твердосплавними пластинами (10% Со, 75% WC і 15% (TiC, TaC, NbC)) пластини з меншою коерцитивною силою мали більший знос. Порівняння результатів тестувань і структури сплавів показало, що зразки з меншою коерцитивною силою характеризувалися більшим шаром кобальтової сполучної та нижчою щільністю та твердістю [16]. Недоліком цього методу є ускладненість визначення коерцитивної сили для великих чи складних зразків. Крім того, цей метод може бути застосований тільки до магнітних матеріалів.

Загальним недоліком методів прогнозування стійкості за допомогою параметрів, що характеризують матеріал різального інструменту, є те, що аналіз фізико-хімічних показників матеріалу інструменту дозволяє порівнювати стійкість одного різального інструменту в порівнянні з іншим. Для встановлення кореляційного зв'язку між фізико-хімічними показниками та стійкістю необхідно виконати додаткові стійкісні випробування, використовуючи заготовки з відповідного матеріалу. Однак у майбутньому можливо буде оцінювати стійкість на основі комплексного аналізу фізико-хімічних показників ріжучого і оброблюваного матеріалів без потреби в додаткових стійкісних випробуваннях.

Існуючі технології зміцнення інструменту відрізняються високою складністю та значними витратами на устаткування та витратні матеріали, що наразі недоцільно з економічної точки зору. У зв'язку з цим, запропоновано використовувати високоефективну технологію зміцнення через поверхневе

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластичне деформування, яка забезпечує високу ефективність у плані зміцнення і є економічно доцільною.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПОСИЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБРОБКИ ДРІБНИМИ СТРУМЕНЯМИ

#### 3.1. Опис методу посилення деталей машин за допомогою дрібно обробки

Для підсилення та очищення деталей практично будь-якої геометричної форми використовують пневмодрібоструменеві та дрібометні процеси. Цей метод дозволяє не обмежувати їх орієнтацією у просторі. Введення мастильно-охолоджуючих рідин у процес дробового посилення та розробка методів гідродрібоударного (ГДУ) посилення забезпечують більш тонке регулювання та стабільність процесу. Дрібна струменева обробка легко піддається автоматизації.

Серед найпоширеніших дрібометних пристроїв, що використовуються в промисловості, варто відзначити пристрій моделі ДУ-1 та його модифікації. Основою пристрою ДУ-1 є механізм розкидання дробу за допомогою швидкоротуючого потоку з вертикальним розташуванням осі обертання. Подача дробу та очищення його від уламків автоматизовані. Пристрій складається з трьох основних частин: робочої камери, сепаратора та елеватора. Дріб засипається в завантажувальний бункер елеватора, потім піднімається елеватором у бункер живильного пристрою ротора, звідки він потрапляє через дросель на лопатки ротора, які надають дробу швидкість до 70 м/с. Деталі, що знаходяться в потоці дробу, піддаються посиленню. Відпрацьований дріб потрапляє в нижній збірник елеватора. Під час вільного падіння дріб зустрічається з потоком повітря, а уламки дробу невеликої маси відводяться в бункер для відходів. Цей пристрій використовується для посилення багатьох деталей, включаючи спіральні пружини, напівосі заднього мосту тролейбуса, прошивочні пуансони для гарячого штампування тощо.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліками дробометного посилення є нагрів деформованої поверхні через удари твердих частинок, які рухаються з великою швидкістю, низька щільність та рівномірність потоку дробу, що впливає на однорідність та стійкість посилення. Ці недоліки частково компенсуються застосуванням установок для дрібної обробки, які виконують посилення мікрокульками діаметром 0,1...0,2 мм. Мікрокульки подаються зверху внутрішньої порожнини валу роторного колеса та розкидаються щільним потоком через радіальні отвори або щілини, набираючи швидкість 40...100 м/с. Використання мікрокульок замість дробу дозволяє більш точно регулювати ступінь посилення в труднодоступних місцях, наприклад у западинах зубців.

Посилення та очищення великих та важких деталей в умовах важкого машинобудування виконується в дрібноструменевих камерах за допомогою форсунки, якою керує оператор, який перебуває в відповідному автономному скафандрі, або за допомогою спеціального робота. Тому для посилення потрібні сферичні та міцні дрібинки. Щоб уникнути деформації дробу при ударі, твердість дробу повинна бути вище, ніж твердість оброблюваного матеріалу. Однак при надмірному підвищенні твердості дробу він стає крихким, що може призвести до розколу дробу, пошкодження оброблюваної поверхні та зниження ефективності процесу.

Легування чавуну нікелем, хромом та міддю підвищує якість дробу, виготовленого з цього матеріалу. Наприклад, додавання 0,3...0,5% міді до чавуну підвищує міцність дробу при ударних випробуваннях на 20...50%. Також відпал дробу позитивно впливає на його якість. Однак головним недоліком чавунного дробу є його підвищена крихкість та велика витрата при дробоструменевій обробці. Наприклад, витрата чавунного дробу на один ротор дробоструменевої установки при приблизній швидкості 70...80 м/с становить 50 кг. Тому на сьогоднішній день сталевий дріб є більш практичним рішенням. Сталевий дріб загартовується при температурі  $t=860...900^{\circ}\text{C}$  і потім піддається низькотемпературному відпуску при  $t=180...220^{\circ}\text{C}$  протягом 1,5...2

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

годин. Він відрізняється високою стійкістю, і витрати сталевго дробу в 30 разів менші, ніж чавунного.

Для пневмодробоструменевих дробометних пристроїв стандартним деформуючим елементом є дріб, який може бути різних типів, таких як чавунний, сталевий, скляний, рублений з дроту, кульки від підшипників. Вони також класифікуються за діаметром, який може становити від 0,025 до 4...5 мм, за точністю - з допуском від 0,4 (для дробу) до 0,02 мм (для кульок від підшипників), а також за геометрією, яка може бути довільною для литого дробу і правильною для кульок. Для зміцнення кольорових сплавів рекомендується використовувати алюмінієвий або скляний дріб.

Важливими параметрами для дробу, призначеного для дробоударної обробки, є його динамічна міцність, однорідність за розмірами та твердість. Якість дробу характеризується його динамічною міцністю, тобто здатністю витримувати удари по оброблюваній поверхні, не руйнуючись. Практика показує, що витрати сталевго дробу в 30...60 разів менші, ніж чавунного, і, навіть при більш високій вартості сталевго дробу (4...5 разів дорожчого, ніж чавунний), загальні витрати на сталевий дріб виявляються в 8...10 разів меншими, ніж на чавунний. Максимальна швидкість для чавунного дробу обмежується його міцністю і, зазвичай, не перевищує 90 м/с. Застосування сталевго дробу дозволяє підвищити швидкість в 1,5...2 рази порівняно з чавунним дробом.

На практиці для дробоструменевої обробки зазвичай використовується дріб з діаметром 0,4...2,0 мм. Чим менший діаметр дробу, тим менше шорсткість обробленої поверхні. При зміцненні деталей з концентраторами напружень на робочій поверхні досягають кращих результатів при використанні дробу, радіус якого відрізняється від радіуса концентраторів напружень, таких як галтели, надрізи або канавки. Для деталей з меншими концентраторами напружень застосовується дріб з меншим радіусом, ніж у концентратора напружень. Це дозволяє уникнути виходу зони впливу концентратора напружень за межі глибини зміцненого шару. Враховуючи

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значну розсіювання розмірів, форми та твердості сталевого і чавунного дробу, рекомендується використовувати метод гідродробоударного зміцнення, де використовуються стандартні сталеві кульки зі стабільними геометричними параметрами.

Методи обробки матеріалів поділяють на дві групи: обробка сухим дробом і обробка дробом із мастильно-охолоджуючою рідиною (МОР). У випадку сухої дробоударної обробки, коли удари дробу відбуваються послідовно з великою частотою, перші удари не лише очищають поверхню від оксидної плівки та забруднень, але й зроблюють її більш ювенільною. Цей процес відбувається в умовах сухого тертя.

Гідродробоструменеве зміцнення відбувається в умовах гідродинамічного тертя, оскільки в зоні удару завжди присутній шар мастильного матеріалу, і поверхню дробинок покриває МОР.

Кожен з цих методів обробки характеризується декількома параметрами:

- спосіб передачі кінетичної енергії дробу;
- швидкість руху дробу (від 1 до 100 м/с).

Важливими характеристиками дробу є його матеріал (чи то чавун, сталь, скло, чи інший матеріал), метод виробництва, діаметр і форма.

Під час обробки дробом, шорсткість оброблюваної поверхні підвищується незначно, а в окремих методах та режимах обробки можливе зменшення шорсткості.

В обох видах обробки загалом відбувається прямий удар, коли дробинка проникає в матеріал, а не ковзає по його поверхні. Це призводить до створення тертя внаслідок удару.

Удар кульки по плоскій поверхні тіла, вкритого плівкою МОР, з енергією  $E_u$  складається з кількох окремих етапів її руху і формування лунки з певною глибиною  $h$ :

- подолання кулькою товщини  $h_p$  плівки рідини  $h_j=0$ ;
- входження кульки на певну глибину  $h_2$ ;
- подальше проникнення кульки у матеріал  $h_3$ ;

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відскок кульки на певний відстань  $h_4$ , при цьому енергія, збережена в пружному металі, передається кульці;

- продовження відскоку кульки, яка витрачає енергію на подолання сил молекулярного зчеплення з рідиною. На поверхні залишається лунка з визначеною глибиною  $h=h_5$ .

Рівняння балансу енергії можна виразити наступним чином:

$$E_y = E_{пл.д} + E_{тр} + E_p + E_{хв},$$

де:

- $E_{пл.д}$  - енергія, витрачена на пластичне остаточне деформування та утворення лунки;

- $E_{тр}$  - енергія, витрачена на тертя без мастильного матеріалу та адгезію;

- $E_p$  - енергія, пов'язана з введенням МОР під час гідродробоструменевої обробки, а також витрачена на руйнування рідинної плівки під час входження кульки і подолання зчеплення з нею під час її відділення;

- $E_{хв}$  - хвильова енергія, яка розповсюджується в глибину матеріалу.

Рівняння балансу енергії вказує на те, що гідродробоструменева обробка вимагає додаткового витрачання енергії ( $E_p$ ) для подолання рідинної плівки. У той же час, складова, така як енергія тертя ( $E_{тр}$ ), значно зменшується.

Явно,  $E_{тр} > E_p$ .

Отже, не враховуючи малозначущу енергію хвильового впливу ( $E_{хв}$ ), ми можемо отримати:

$$E_{пл.д} = E_y - (E_{тр} + E_p).$$

Корисна енергія ( $E_{пл.д}$ ) зміцнення, що супроводжується створенням лунки, є остаточним ефектом. При однаковому значенні  $E_y$  ця енергія більша

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при гідродробоструменевій обробці, ніж при звичайній дробоструменевій обробці:

$$E_{пл.д.р} > E_{пл.д.с.}$$

Коефіцієнт корисної дії удару ( $\eta = E_{пл.д.} / E$ ) вказує на те, що ККД удару при гідродробоструменевій обробці більший, ніж при звичайній дробоструменевій обробці ( $\eta_{ус} < \eta_{ур}$ ).

Зміцнення сухим дробом проводять за допомогою дробоструменевих та дробометних установок. В дробоструменевих установках, дріб набуває кінетичну енергію у дробоструменевому соплі завдяки стиснутому повітрю, що подається через повітряну форсунку. У дробометних установках, ця кінетична енергія надається у відцентровому дробометному колесі.

Основні характеристики зміцнення сухим дробом включають:

- Простоту конструкції установки, оскільки вона використовує централізовану систему подачі стиснутого повітря, яка зазвичай існує на багатьох підприємствах.
- Концентрований потік дробу, який здатний обробити трудодоступні області деталей.
- Можливість досягнення високих швидкостей руху дробу.
- Здатність відокремлювати дріб від повітряного потоку.
- Відсутність необхідності в промивці деталей після зміцнення.

Недоліки зміцнення сухим дробом включають:

- Жорсткі удари дробинок при великих швидкостях руху, що може призвести до значного підвищення локальних температур, особливо при зміцненні сталі, де температури можуть сягати понад 650°C.
- Залишкові стискаючі напруження зазвичай мають максимальні значення на певній відстані від поверхні.
- Під час зміцнення оброблених поверхонь, цементованих та загартованих деталей, шорсткість в середньому підвищується на 1-2

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мкм. У разі зміцнення деталей з покращених сталей, титану та алюмінієвих сплавів, підвищення шорсткості може досягати 2,5-5 мкм. У багатьох випадках спостерігається активний перенос часток дробу на поверхню деталей, що зменшує їх стійкість до корозії, особливо в деталей, виготовлених з матеріалів, не містять залізо.

- Режим зміцнення відзначається значною нестабільністю через великі допуски на діаметр дробу (наприклад, для дробу діаметром 0,5-0,8 мм чи 0,8-1 мм, допуск становить приблизно 1/3 діаметру дробинки). Також існує високий рівень зносу дробу через сухе тертя, що призводить до помітного зменшення дробу протягом однієї зміни безперервної роботи установки.

Головні переваги гідродробоструменевого зміцнення порівняно з дробоструменевим включають:

1. Залишкові напруження, які виникають при гідродробоструменевому зміцненні, є виключно стискаючими, і зазвичай мають найвищі значення на певній глибині в матеріалі.

2. Параметр шорсткості поверхні (Ra) залишається на порівняно низькому рівні, зазвичай в межах від 1,25 до 0,16 мм, і може бути подальше зменшений до значень від 10 до 1,5 мікрон.

3. Мікрогеометрія поверхні поліпшується завдяки збільшенню радіусів заокруглення лунок, утворених від дробу, та виступів, які визначають опорну поверхню.

4. Під час гідродробоструменевого зміцнення виключено перенесення матеріалу з робочих тіл на оброблювану поверхню. Це досягається завдяки зниженню температури в зоні контакту та відокремленню поверхневого шару деталі рідинною плівкою.

5. Однак установки для гідродробоструменевого зміцнення складніші за дробоструменеві, вони вимагають значних фінансових витрат на покупку та обслуговування.

**Основні параметри процесу обробки дробом включають:**

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Робоче середовище (включаючи матеріал, характер і розмір робочих тіл, склад рідини).
- Відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні, кут і діаметр факела дробу.
- Швидкість руху робочого середовища.
- Тривалість процесу.

Склад робочого середовища обирається в залежності від обраного методу обробки. Відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні регулюється в межах можливостей установки, залежно від матеріалу оброблюваної деталі та бажаного рівня зміцнення. Зменшення цієї відстані призводить до збільшення інтенсивності зміцнення, але водночас зменшує діаметр факела дробу та площу оброблюваної поверхні.

Під час гідродробоструменевого зміцнення рекомендується використовувати мінеральне трансформаторне масло як мастильно-охолоджуючу рідину, оскільки воно є нетоксичним, несприятливим для пожежі, має стабільну текучість та невеликий вплив на робочий процес при зміні температури. Крім цього, можна використовувати інші рідини, такі як масло "Індустріальне-12", приладове МВП та інші.

Гідродробоударне зміцнення зазвичай виконується за допомогою гідравлічних дробоударних пристроїв типу ежектор з одно- або багатоканальними форсунками.

Ефективність зміцнення залежить від численних факторів, включаючи швидкість дробу при контакті з оброблюваною поверхнею, розмір, якість і кількість дробу, тривалість процесу, кут атаки струменю дробу, щільність покриття оброблюваної ділянки деталі дробом, відстань між оброблюваною поверхнею і місцем виходу дробу, а також фізико-механічні властивості матеріалу деталі. Шорсткість поверхні до обробки дробом майже не впливає на результати зміцнення і зазвичай не контролюється. Ефективність зміцнення також залежить від цих технологічних факторів і визначає шорсткість поверхні, глибину зміцнення та залишкові напруження. Дробоструменеве

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміцнення є дуже зручним для обробки деталей та інструменту складної конфігурації, при цьому розміри деталей залишаються незмінними і в межах допустимого поля розмірів.

При пневмодробоструменевій обробці, шорсткість поверхні піддається впливу режимів обробки, якості використовуваного дробу та вихідного стану поверхні. Топографія зміцненої поверхні характеризується поєднанням слідів механічної обробки та численних мілких лунок, які утворюються від ударів дробинок. Також можна виявити окремі риси, які з'являються під впливом розколотих дробинок з гострими краями. Профіль мікронерівностей, утворений внаслідок цього процесу, стає більш пологим з відносно великим радіусом виступів і западин, і він добре утримує масло. Проте, наявні риси можуть слугувати концентраторами напружень.

Зміщення мікрогеометрії поверхні через утворення лунок найбільше помітне при низькій вихідній шорсткості, де  $Ra=0,16...0,30$  мкм, і час обробки одного елемента поверхні становить 1...2 хвилини. При тривалому пневмодробоструменевому деформуванні шорсткість поверхні трохи зменшується, але не повертається до вихідного рівня. У випадку вищої вихідної шорсткості ( $Ra=0,42...0,85$ ) обробка дробом призводить до певного зниження шорсткості. Водночас, дробометна обробка, як правило, підвищує шорсткість поверхні і може призвести до окислення.

Використання дробометного зміцнення мікрокульками призводить до значного погіршення мікрогеометрії поверхні. Малі розміри кульок і висока швидкість їх руху сприяють утворенню мікропрофілю поверхні з гострими виступами і западинами, які можуть служити концентраторами напружень. Під час цього процесу, шорсткість поверхні збільшується, особливо якщо вихідна шорсткість була низькою ( $Ra<0,30$  мкм).

Гідродробоструменевий спосіб зміцнення дозволяє досягти зменшення вихідної шорсткості для численних видів сталей (див. Таблиця 3.1).

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Таблиця 3.1- Зміна шорсткості поверхні при дробоударній обробці**

Матеріал	Твердість ь HRC	Вихідна шорсткість R, мкм	Шорсткість після обробки R, мкм	
			Пневмодро- боструменева обробка	Гідродробо- струменева обробка
BT3-1	27...36	0,32-0,160	2,5-1,250	0,63-0,160
18X2H4BA	38...40	0,63-0,320	5-2,50	1,25-0,630
12X2H4A цементована	60...62	1,25-0,630	2,5-1,250	1,25-0,630
60C2Г	42...44	2,5-1,250	10-2,50	2,5-0,630
Д16Т	—	5-1,240	10-2,50	2,5-1,250
20ХН3А цементована	58...60	5-2,50	5-2,50	2,5-1,250

Це пояснюється використанням більш якісних деформуючих тіл, а саме полірованих куль однакового діаметру, які рухаються з високою швидкістю в середовищі мінерального масла. Проте було встановлено, що на пристроях гідродробоструменевого зміцнення, які обробляють зразки з низькою вихідною шорсткістю поверхні протягом менше ніж 2 хвилин, може спостерігатися збільшення мікронерівностей. Ця ситуація пояснюється тим, що спочатку кульки, при ударах об поверхню, залишають свої розрізнені сліди на поверхні. З плином часу під час зміцнення ці сліди наслоюються один на одного, що призводить до зниження глибини кожного сліду і, відповідно, висоти нерівностей. У випадку деталей з високою вихідною шорсткістю, спостерігається зниження висоти нерівностей на ранній стадії зміцнення. Це пояснюється тим, що перші удари призводять до зменшення висоти нерівностей в процесі деформації, і енергія удару спрямовується на цей процес, не проникаючи на значну глибину металу. Подальша поява окремих

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ				

лунок на поверхні з уже деформованими нерівностями може призвести до підвищення шорсткості. Найкращий час зміцнення для отримання мінімальної висоти нерівностей перебуває в межах 3...6 хвилин. Довше зміцнення не призводить до подальшого зниження висоти нерівностей.

Всі методи дробоструменевого зміцнення при оптимальних режимах підвищують мікротвердість поверхні і формують в поверхневому шарі стискаючі залишкові напруження. Наприклад, при обробці сталі 35Х2МФА, загартованої до HRC 50...51, було виявлено значний вплив методів дробоударної обробки на фізико-механічні властивості поверхні і поверхневих шарів.

Якщо вихідна шорсткість поверхні шліфованих зразків становила  $Ra=0,72$  мкм, то після дробометної та гідродробоударної обробки вона збільшилася до  $Ra=0,16...2,5$  мкм. Обробка поверхні цими методами супроводжувалася практично однаковим зростанням поверхневої твердості та глибини зміцненого шару.

Після шліфування в поверхневому шарі спостерігаються розтягуючі залишкові напруження з максимальним значенням близько 320 МПа, які розташовані на глибині до 0,05 мм.

Дробометна та гідродробоударна обробки формують в поверхневому шарі стискаючі залишкові напруження, які мають подібні характеристики за величиною та глибиною залягання. Варто зазначити, що гідродробоударна обробка може породжувати більш значущі залишкові напруження на поверхні.

Максимальне підвищення ступеня зміцнення в основному залежить не лише від методу дробоструменевого зміцнення, але і від якості оброблюваного матеріалу. Спосіб зміцнення переважно впливає на глибину розповсюдження максимальних залишкових напружень та їхню величину на поверхні. Визначальну роль у розповсюдженні залишкових напружень, а також у глибині і ступені зміцнення відіграє діаметр дробу та швидкість його руху.

Найвищу твердість поверхні та практично максимальну глибину зміцнення можна досягти оброблюючи поверхню дробом протягом 4 хвилин

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за умови впливу енергії 80 кДж/м<sup>2</sup>. Подовший час пластичної деформації призводить лише до незначного збільшення глибини зміцненого шару. Під час деформаційного зміцнення також відбуваються зміни в комплексі механічних властивостей, збільшуються характеристики міцності при певному зниженні показників пластичності.

Утворення стискуючих залишкових напружень методом дробоструменевого зміцнення можливе також у випадку твердих сплавів. Залишкові напруження першого роду, що утворюються внаслідок обробки твердих сплавів методом поверхневого пластичного деформування, впливають на їхню міцність. Дослідження проведені на контрольних пластинах із сплаву Т15К6 показали, що під час обробки дробом в поверхневому шарі твердого сплаву утворюються значні стискуючі залишкові напруження, які поширюються на глибину приблизно 0,1 мм.

Внаслідок зміцнення поверхневого шару та поліпшення форми мікрорельєфу після всіх методів дробоструменевої обробки, особливо гідродробоструменевої, спостерігається помірне зниження інтенсивності зношування деталей машин. Усі вказані методи поліпшують показники міцності деталей та збільшують їхню тривалість служби. Наприклад, зубчасті колеса, виготовлені зі сталі марки 15ХГН2ТА, після зміцнення дробом збільшують свою довговічність на 15...20%.

Дробоструменева обробка також знижує кількість експлуатаційних поломок виробів з твердого сплаву. Наприклад, у зміцнених різцях відзначено зменшення кількості руйнувань та дрібних викришувань у 1,8...2 рази, при цьому стійкість збільшилась у 1,1...1,8 рази. Зауважимо, що дробоструменеву обробку рекомендується використовувати лише для нового інструмента, тобто застосовувати її один раз.

Дробоструменева обробка широко застосовується для підвищення довговічності складних за формою деталей, наприклад, спіральних пружин. В середньому, міцність втомлення пружин, які пройшли дробоструменеву обробку з подальшим відпуском, збільшується в 4 рази.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метод дробоструменевої обробки застосовується для багаторазового підвищення довговічності та надійності зварних вузлів різних машин, особливо в умовах вібрації. Цей вид зміцнення також рекомендується для деталей з кольорових сплавів, оскільки він завдяки зменшенню ризику розтріскування збільшує довговічність їх роботи в корозійних середовищах. Перспективним вважається поєднання дробоструменевої обробки з іншими методами. Наприклад, використання хіміко-термічної обробки спільно з дробоструменевою обробкою для колінчастих валів швидкісних двигунів підвищує межу їх витривалості на 60%.

### **3.2. Дробоструминна обробка різального інструменту**

Для виготовлення деталей двигунів та автомобілів усе ширше використовується високоміцний чавун з кульковидним графітом (ВПКМ) [11]. Деталі з ВПКМ проявляють відмінну витривалість під умовами циклічних навантажень, тертя та зношування, навіть в корозійних середовищах. Однак велика міцність матеріалу, яку можна досягти завдяки різним режимам термічної обробки, разом із неоднорідністю структури призводить до погіршення оброблюваності інструменту, прискореного зношування ріжучої кромки та загального погіршення якості обробки чавунів [12].

Один із способів поліпшення оброблюваності полягає в збільшенні надійності різального інструменту через зміцнення поверхневим пластичним деформуванням (ППД). ППД використовується, коли велика кількість інструментів виходить з ладу через зношування. Для твердосплавного інструменту одним із найбільш ефективних методів зміцнення ППД є дробоструминне зміцнення. Технологія зміцнення ППД впливає на структуру твердого сплаву, властивості, мікрорельєф поверхні та радіус округлення ріжучої кромки [13].

Високоміцні чавуни відрізняються значною неоднорідністю як за структурою, так і за хімічним складом, що призводить до погіршення їх оброблюваності [12].

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При обробці усіх видів чавунів ріжців із твердих сплавів спостерігають такі види зношування: зношування задньої поверхні, невелика лунка зношування передньої поверхні, зниження вершини, розмірне зношування.

Чавун у литому стані ВПКМ характеризується великою неоднорідністю як структури, так і хімічного складу, що сприяє інтенсифікації втомного зношування твердих сплавів, таких як ВК8. Тверда металева матриця пронизана м'якими включеннями графіту різних розмірів, і спостерігається нерівномірний розподіл фериту, який зосереджений в основному в біляграфітній зоні, а також ліквіація хімічних елементів, переважно кремнію. Під час обробки чавуну відбувається видалення ріжучої кромки. Циклічні навантаження призводять до періодичних змін дотичних і нормальних напружень на контактних поверхнях різального інструменту. Ці напруження впливають неоднаково на неоднорідну структуру твердого сплаву через відмінності в властивостях фази зв'язування та карбідів. Зношування твердого сплаву на ділянках більшої стійкості відбувається через втомне руйнування зерен карбідів, які віддаляються від поверхні через дрібні частинки або видаляються внаслідок втомного руйнування зв'язування.

Існують докази успішного використання дробоструминного зміцнення інструменту для точіння та фрезерування сталей, титанових сплавів та сірого чавуну, проте література майже не містить інформації щодо використання цих методів для обробки ВПКМ.

У зв'язку з цим було проведено дослідження щодо точіння ВПКМ після дробоструминної обробки. Ріжучі пластини із твердих сплавів ВК8 із механічним кріпленням п'ятигранних пластин мали наступні геометричні параметри:  $\phi = 60$ ,  $\phi_1 = 10$ ,  $\phi = -8$ ,  $\phi = 8^\circ$ . Пластини обробляли порошком карбиду бору на передніх та опорних поверхнях, після чого задні поверхні залишалися в стані поставки після спікання. Радіус округлення кромки становив 8 - 10 мкм.

Чавун, який досліджувався, мав такий хімічний склад: 3,3 - 3,8 % С; 2,4 - 3,2 % Si;  $C + 1/3Si = 4,25 - 4,35$  %; 0,004 - 0,007 % S; 0,5 - 0,9 % Mn; 0,045 -

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,008 % P; 0,05 - 0,1 % Cr; 0,1 - 0,15 % Ni; 0,04 - 0,09 % Mg. Виливку ВПКМ діаметром 100 мм і довжиною 400 мм піддавали нормалізації за таким режимом: нагрівання до 860 °С з наступною витримкою 1,5 години. Отримана твердість складала 280 НВ, і структура складалася з перліту і фериту (див. Рис. 3.1).

Чавунні зразки, одержані з одного плавлення, піддавалися різним режимам термічної обробки. Режими термообробки та результати металографічного аналізу експериментальних зразків представлені в таблиці 3.2.

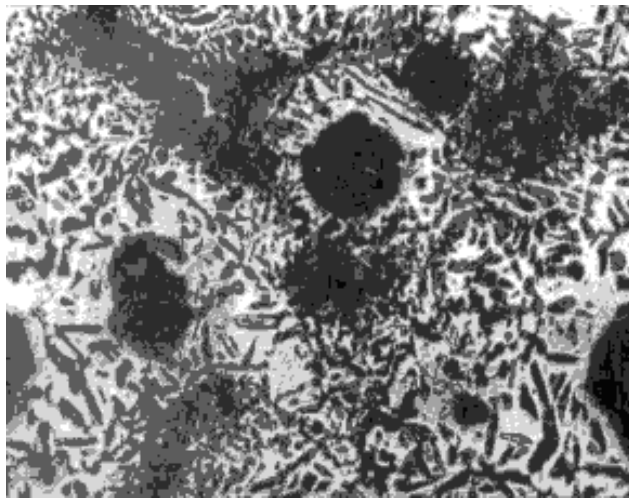


Рис. 3.1. Структура високоміцного чавуну з кульковидним графітом після нормалізації із МКІ, x270

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2

Режими термічної обробки, структура і твердість високоміцного чавуну

Режим термічної обробки	Структура металевої матриці	Твердість	
		HB	HRC
1. Гартування з 850°C, витримка одна година, відпуск при 200°C, витримка дві години	Мартенсит відпуску	—	47...51
2. Гартування з 850°C, витримка одна година, відпуск при 340°C, витримка дві години	Тростит відпуску	—	44...47
3. Гартування з 850°C, витримка одна година, відпуск при 550°C, витримка дві години	Сорбіт відпуску	285...311	—
4. Нормалізація: нагрівання до 850°C, витримка півтори години, охолодження з обдувом	Перліт (75%) плюс ферит (25%)	248...302	—

Дробоструминне зміцнення виникає після того, як інструмент піддається ударам дробу. Підвищення властивостей інструменту під час дробоструминного зміцнення досягається завдяки оптимальному радіусу округлення ріжучих кромки і вершин, низькій шорсткості ріжучих поверхонь і кромки, сприятливому рельєфу поверхні, а також залишковим напруженням на глибині до 0,01 мм [14].

Всі пластини піддавалися дробоструминному зміцненню одночасно із безперервним промиванням содовим розчином. Під час мікроскопічного контролю зміни радіуса не перевищували 10%, дефекти, такі як викрашування, були відсутні, і шорсткість ріжучих кромки та поверхонь істотно покращилася, залишившись матовою після зміцнення.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Дробоструминне зміцнення базується на впливі струменя сталевого або чавунного дроби на ріжучі поверхні інструмента. Після дробоструминної обробки міцність інструмента зростає завдяки залишковим стискувальним напруженням на глибині до 0,3 мм. Меншу роль відіграє наклеп, алотропічні зміни в кобальті, видалення дефектного поверхневого шару, незначне округлення кромки і вершин, а також релаксація міжфазних напружень [15].

Дробоструминне зміцнення проводили на спеціальній інструментальній установці із дробомітним колесом діаметром 350 мм із частотою обертання 3600 об/хв. Шість пластин зміцнювали одночасно, закріплені на кришці установки за допомогою спеціального пристрою для дроби ДЧК-0,3 без СОТС.

В якості показника оброблюваності використовувалася стійкість інструмента  $T$  (години). Режим різання був наступним: товщина різку  $t = 0,4$  мм; подача  $S = 0,07$  мм/оберт; швидкість  $V = 5,2$  м/с. Параметри зношування вимірювалися за допомогою інструментального мікроскопа з точністю 0,01 мм. Критерій зношування становив 0,6 мм, значення стійкості коливалися від 7 до 20 годин, і режими різання були близькі до тих, що застосовуються на виробництві. Щоб скоротити трудомісткість експериментів, швидкість різання була трохи збільшена, і кожний експеримент повторювали 4 рази.

Пластини тестували на верстаті 16К625 при поздовжньому точінні без СОТС. Випробування на міцність полягали в послідовному збільшенні подачі до руйнування пластини –  $S_p$  (мм/оберт). При товщині різку 2,5 мм і швидкості різання 0,32 м/с подачу збільшували від 0,78 мм/оберт згідно з рядом подач верстата, і кожний експеримент повторювали 10 разів. Розміри та форма руйнувань були подібними до тих, що спостерігалися під час точіння сірого чавуну.

Залежність тривалості стійкості інструменту, який піддавався дробоструминній обробці, від радіуса округлення леза мала параболічний характер з максимумом при  $\rho = 20$  мкм (рис. 3.2). Збільшення радіуса округлення до 30 - 40 мкм трохи знижувало стійкість, але при  $\rho = 70$  мкм стійкість зменшувалася в 1,9 рази. Такий вплив радіуса округлення ріжучої

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кромки пояснюється тим, що площа контакту при різанні чавуну значно менше, ніж у випадку сталі. Зменшення площі контакту відбувається внаслідок збільшення контактних навантажень.

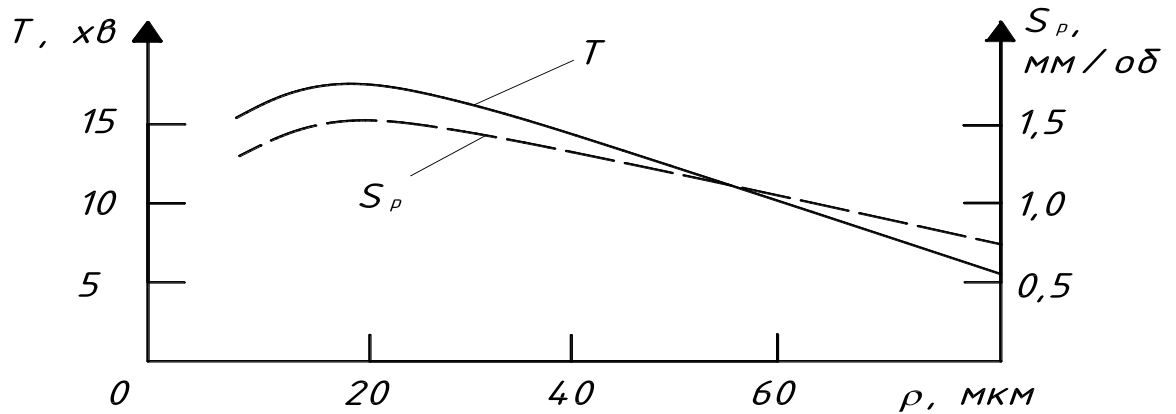


Рис. 3.2. Вплив округлення ріжучої кромки на стійкість і міцність інструмента

Під час випробувань на руйнівну подачу також була отримана параболічна залежність від радіуса округлення, з максимальною міцністю інструмента при значенні  $\rho = 20$  мкм. Округлення ріжучої кромки на 40 мкм знизило руйнівну подачу незначно, а при значенні 70 мкм - у 1,5 рази. Це пояснюється, очевидно, більшим співвідношенням радіальної складової сили різання до тангенціальної при точінні чавуну в порівнянні зі сталлю. Відомо, що округлення ще більше збільшує це співвідношення, що негативно впливає на міцність інструмента (рис. 3.3).

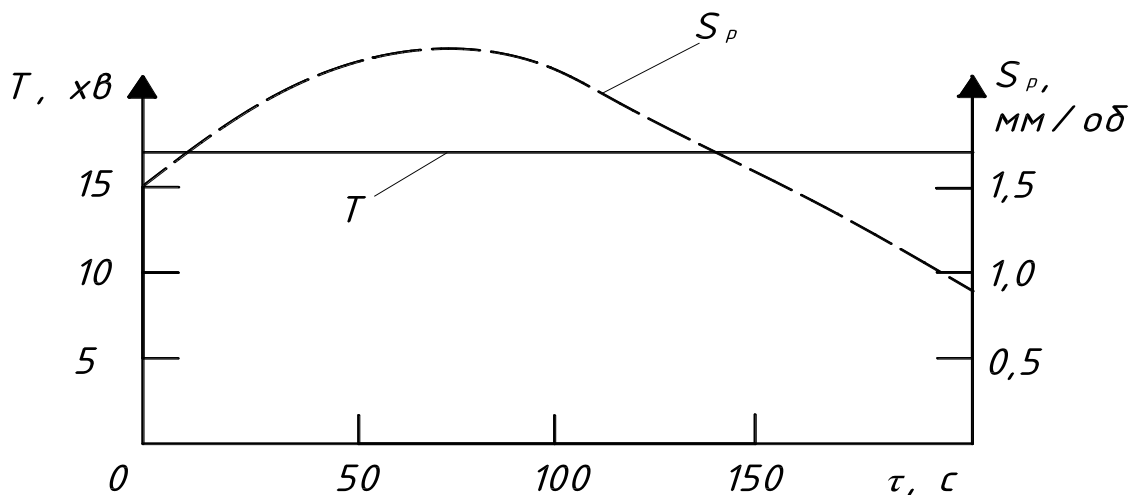


Рис. 3.3. Вплив часу обробки дробом на стійкість і міцність інструмента

Залежність руйнівної подачі від режимів дробоструминного зміцнення, як і у попередньому випадку, описується параболою. Максимум при тривалості 80 з відповідав збільшенню міцності в 1,4 рази. Це пов'язане з виникненням залишкових напружень стиску, що підвищують міцність твердого сплаву і, відповідно, руйнуючої подачі (рис. 3.4). Дробоструминне зміцнення твердосплавного інструмента є ефективним засобом поліпшення оброблюваності деталей із ВПКМ за рахунок невеликого округлення ріжучих кромки і створення залишкових напружень стиску в поверхневому шарі. Рівень стискаючих залишкових напружень у поверхневому шарі досягає 1200 МПа для карбідної фази і 400 МПа для кобальтової фази.

На виробництві в цей час використовують три основні методи дробоструминної обробки змінних багатогранних пластин: дробоструминна обробка, під час якої пластини рівномірно розподіляються по об'єму робочої камери; дробоструминна обробка, при якій пластини розміщують поодинці в окремих гніздах ложементів; дробоструминна обробка, коли оброблювані пластини розташовані поодинці в окремих гніздах касет.

Дробоструминна обробка повністю вирівнює нерівності на ріжучих кромках шліфування, які утворилися в процесі виготовлення пластин, і

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формує новий ізотропний рельєф. Початковий параметр шорсткості ріжучої кромки  $Ra = 2,5-1,0$  мкм після 2 годин обробки зменшується до  $Ra = 0,5-0,16$  мкм. Глибокі сліди викрашувань (0,3-1,0 мм) на ріжучих кромках також значно згладжуються, і їх краї округлюються. Під час дробоструминної обробки пластин із твердих сплавів на рекомендованих режимах утворюються тільки стискаючі напруження, які зростають зі збільшенням режимів обробки [16, 17]. У результаті дробоструминної обробки виникає значне пластичне деформування кобальтової фази, яка переходить в гексагональну модифікацію. Товщина пластично деформованого шару під час дробоструминної обробки становить 10-30 мкм.

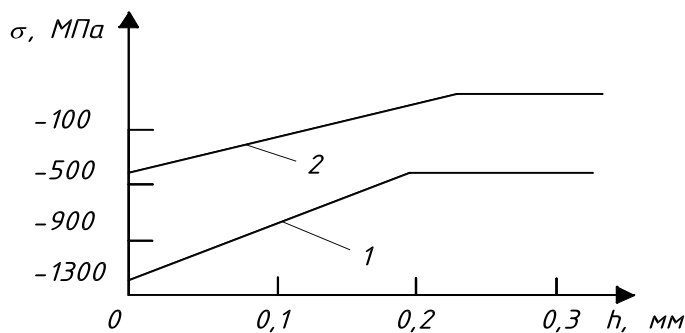


Рис. 3.4. Розподіл залишкових макронапружень  $\sigma$  по глибині поверхневого шару  $h$  твердого сплаву ВК8 після дробоструминної обробки:

1 - карбід вольфраму; 2 - кобальтова фаза

Аналізуючи експериментальні дані (табл. 3.3), можна зробити висновок, що стійкість дробоструминно зміцнених пластин із твердого сплаву Т15К6 при точінні ВПКМ збільшилася в 1,5 - 3,3 рази в порівнянні з неопрацьованими пластинами. При цьому важливо підкреслити, що дробоструминно оброблені пластини практично не мають зони приробляння. Зношування зміцнених пластин відбувається рівномірно протягом усього періоду стійкості інструмента.

Таблиця 3.3

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показники працездатності твердосплавного інструмента, зміцненого дробоструминною обробкою

Структура металевої матриці чугуну	Інструментальний матеріал									
	T15K6					T15K6 + дробоструминна обробка				
	$T_n$ , хВ	$T_{cp}$ , хВ	$T_n - T_{cp}$ , хВ	$K_n$	$K_{cp}$	$T_n$ , хВ	$T_{cp}$ , хВ	$T_n - T_{cp}$ , хВ	$K_n$	$K_{cp}$
Мартенсит відпуску	9	115	5	0,4	0,2	25	225	5	0,17	0,14
	15		1	0,07		23		1	0,05	
	17		3	0,22		29		5	0,2	
Тростит відпуску	15	119	4	0,22	0,24	31	334	5	0,15	0,15
	16		2	0,12		41		6	0,12	
	25		7	0,39		40		4	0,12	
Сорбіт відпуску	20	333	8	0,26	0,21	66	881	14	0,2	0,15
	35		5	0,14		85		4	0,06	
	40		8	0,25		92		10	0,13	
Перліт + ферит	22	335	7	0,21	0,23	72	990	12	0,13	0,15
	40		4	0,12		105		13	0,14	
	48		3	0,37		101		9	0,1	

Характер зношування зміцнених віброобробкою пластин практично не відрізняється від зношування при роботі незміцненим інструментом. Зношування розпочинається по передній і задній поверхнях різця. Однак, при використанні віброобробленого інструменту, спостерігається менше мікротріщин і викрашувань на робочих поверхнях твердосплавних пластин на початковому етапі роботи, і зношування має явну тенденцію до абразивного характеру. Таблиця 3.2 містить результати стійкісних випробувань віброоброблених пластин при дробоструминній обробці ВПКМ із різною структурою металевої матриці. Дробоструминна обробка інструмента в

цих умовах призводить до збільшення середнього періоду стійкості пластин ( $T_{ср}$ ) від 1,7 до 2,6 разів. Від 60 до 90% відмов при роботі незміцненими пластинами були пов'язані з викрашуванням і поломками. Основним видом відмов віброоброблених пластин було зношування, і кількість поломок пластин значно зменшилася (від 1,5 до 3 разів). Найбільше підвищення середнього періоду стійкості спостерігається для тих пластин, які мали найбільше число дефектних лез при роботі незміцненим інструментом. Коефіцієнт варіації стійкості ( $K_{ср}$ ) при цьому зменшується від 1,4 до 1,75 разів.

Зменшення відколів ріжучих кромek при використанні віброобробленого інструменту сприяло підвищенню середнього числа періодів стійкості в 1,2 - 1,5 рази. Це разом із збільшенням середнього періоду стійкості призвело до зростання загального середнього періоду стійкості зміцнених пластин від 1,8 до 2,5 разів.

### **3.3. Дослідження контактної взаємодії сферичного індентора при контакті із площиною**

Більшість вузлів тертя машин працюють в умовах обмеженого змащення контактуючих поверхонь. При проектуванні та вдосконаленні цих вузлів важливо визначити силові параметри контактної взаємодії, зокрема, нормальні та тангенціальні напруження.

Для трибосполучень зі змащенням розрахунок тиску та зсувних напружень можливий лише при наявності даних про нормальні та тангенціальні модулі деформації поверхонь, які покриті мастильним плівками.

Існують відомі дослідження, які вивчають вплив мастильного середовища на деформації під час статичного вдавлювання індентора в матеріалову поверхню. У Таблиці 3.4 наведено зміни твердості за Мейером в залежності від умов змащення поверхні [136].

Таблиця 3.4

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Зміни твердості НМ, МПа по Мейеру в залежності від умов мащення

Матеріал	Без мащення	Глицерин	Сілікон	И-20
Латунь Л70	1350	1229	1129	1081
Армко-залізо	2175	1923	1812	1675

Розрахунок твердості НМ проводився за залежністю:

$$\sigma = \frac{Q}{(2htg\beta)^2},$$

де  $Q$  – навантаження;

$h$  – глибина вдавлювання піраміди с кутом  $\beta$ .

Аналіз отриманих результатів свідчить, що в усіх сценаріях навантаження індентора (деформація) була більшою при взаємодії з змащеною поверхнею, ніж з сухою.

Подалі, для проведення експериментальних досліджень деформацій в умовах змащеної та сухої взаємодії, була використана проба Бринеля.

Для цих досліджень використовувався призматичний зразок зі сталі 45, який складався з двох половин (див. рис. 3.5). Половини зразка були обмазані пастою "Ефект", а потім на одну з половин було нанесено сітку з кроком 1 мм. Після цього обидві половини зразка були з'єднані і стиснуті за допомогою лекальних пристроїв (див. рис. 3.5). Поверхню, яка піддавалася дослідженню, було попередньо підвернуто обробці на плоскошліфувальному верстаті до досягнення шорсткості  $Ra = 0,32$  мкм.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

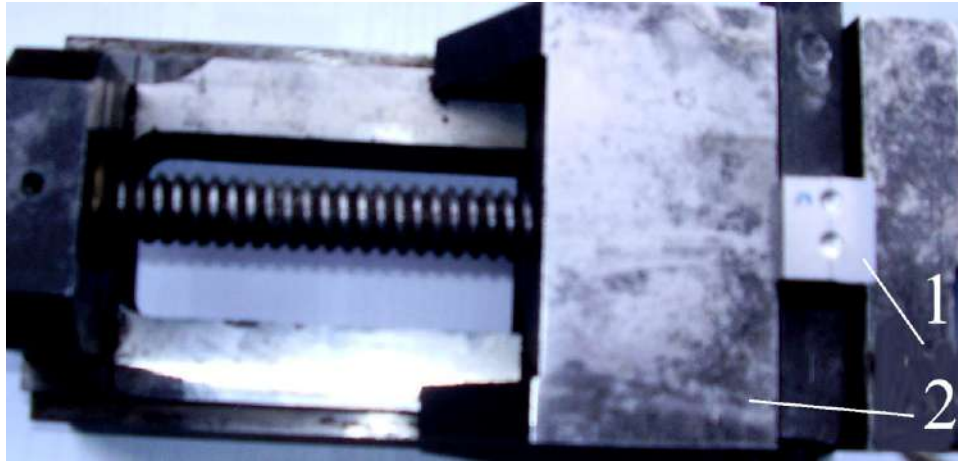


Рис. 3.5. Схема досліджень деформацій за пробою Бринеля:

1 – напіввразки;

2 – лекальні лещата

Індентування було виконано за допомогою твердоміра, використовуючи сталеву кулю зі спеціальною сталлю ШХ15 діаметром = 10 мм. Один відбиток було створено в умовах сухого контакту, в той час як інший відбиток було отримано за наявності рясного змащування поверхні зразка пластичним мастилом "Литол-24". Після проведення індентування розміри отриманих відбитків становили (див. рис. 3.6): для змащеного контакту = 5,2 мм, для сухого контакту – = 4,8 мм.

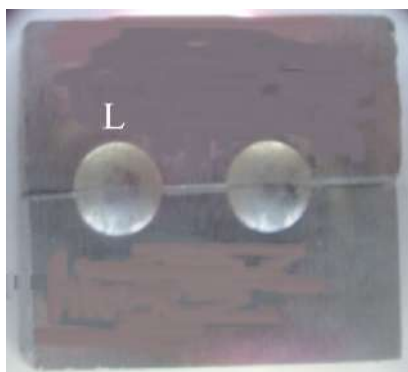


Рис. 3.6. Відбитки після вдавлювання сферичного індентора в змащену (зліва) і незмащену поверхню

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сітка деформацій, нанесена на поверхню роз'єму напіввзразків, показана на рис. 3.7.

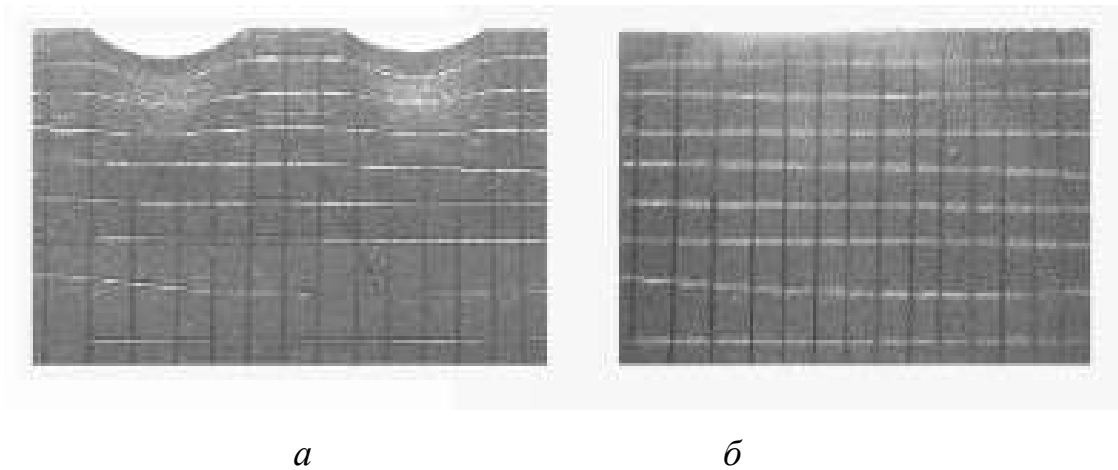


Рис. 3.7. Сітка на поверхні роз'єму напіввзразків:

*a* – після деформування;

*б* – до деформування.

Для аналізу деформацій ліній сітки, вона була сфотографована і збільшена за допомогою цифрової фотокамери (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Деформація лінії сітки

Лінії, проведені паралельно вихідній поверхні деформації через нижні точки по вісі ямки деформації змащеної поверхні, наочно демонструють значно вищу ступінь деформації в порівнянні з деформацією незмащеної поверхні. Вимірювання деформацій ліній сітки дозволили побудувати графіки відносної деформації матеріалу вглиб від поверхні вздовж вісі ямки деформації. Графіки відносної деформації для змащеного і сухого контакту наведено на рис. 3.9.

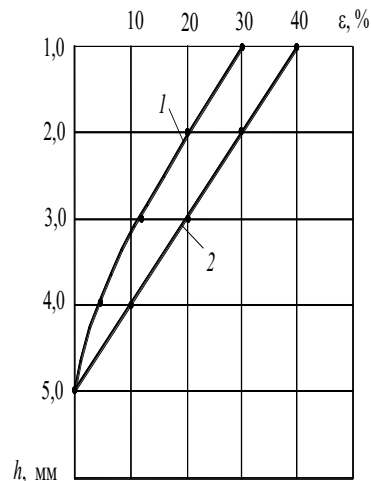


Рис. 3.9. Діаграми відносної деформації:

1 – незмащеної поверхні;

2 – змащеної поверхні

Величини відносної деформації  $\varepsilon$  визначались за залежністю:

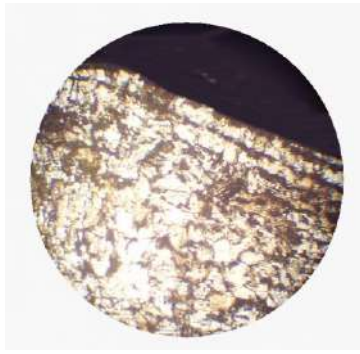
$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_d - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де – відстань від поверхні зразка до недеформованих і деформованих ліній сітки вздовж вісі ямки деформації. Аналіз отриманих результатів розкриває наступне:

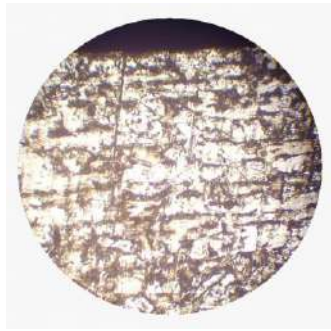
1. Величина відносної деформації матеріалу вглиб від поверхні є більшою для змащеного контакту.

2. Залежність відносної деформації від відстані вглиб поверхні випромінює лінійний характер у випадку змащеного контакту, в той час як для сухого контакту спостерігається нелінійна характеристика деформації. Для аналізу структури матеріалу внаслідок деформації в змащеному та сухому контакті проведено мікросліфування поверхні роз'єму напівзразків біля ямок деформації. Структура матеріалу в зоні деформації досліджувалася за допомогою мікроскопу METAM P-1 та фотографувалася за допомогою цифрової фотокамери. Фотографії структури матеріалу в зоні ямок деформації для змащеного та сухого контакту представлені на рис. 3.10 - 3.11.

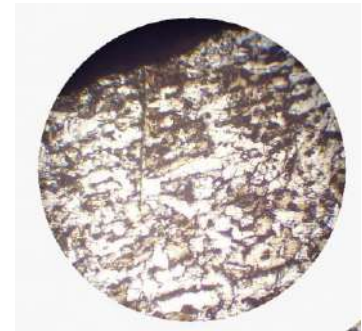
					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



*на вході в лунку*

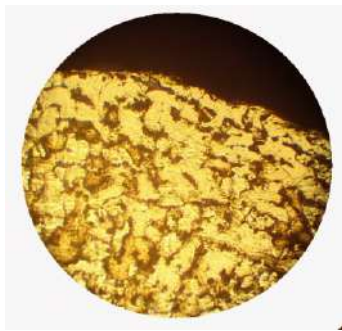


*в центрі лунки*

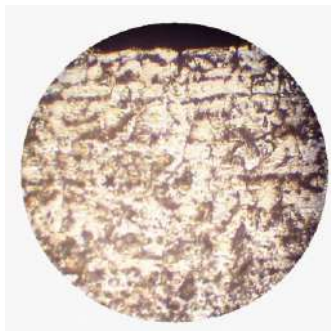


*на виході з лунки*

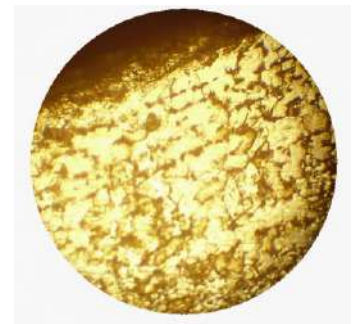
Рис. 3.10. Мікроструктура матеріалу в зоні лунки деформації для незмащеного контакту



*на вході в лунку*



*в центрі лунки*



*на виході з лунки*

Рис. 3.11. Мікроструктура матеріалу в зоні лунки деформації для змащеного контакту

В обох випадках деформації поверхні сталевого зразка було помічено витягання зерен неподалік від поверхні. Проте глибина та розподіл шару деформованих зерен на поверхні ями деформації були різними:

- Глибина шару деформації зерен була максимальною в центрі ями і поступово зменшувалася до її країв у випадку сухого контакту.
- У випадку змащеного контакту глибина шару деформації зерен була рівномірною і майже однаковою на всій поверхні ями деформації.

Ця різниця в деформаційному зображенні матеріалу поверхневого шару призводить до різних напружених станів у випадках сухого та змащеного контакту.

Розглянемо умови деформації і напруженого стану поверхневого шару в контактній взаємодії між кулькою та поверхнею, якщо використовується мастильний матеріал, і без нього. Аналогічний аналіз також проведено для гідродробеструменевої обробки поверхні сталевими кульками.

У теорії пластичної обробки металів для опису закономірностей деформації матеріалів без контактної тертя (при використанні мастильних матеріалів) застосовують принцип "радіальної течії", який був встановлений І.Я. Тарновським. Згідно з цим принципом, під час контактної взаємодії кульки з поверхнею через мастильну плівку, метал у поверхневому шарі рівномірно деформується в радіальному напрямку, що призводить до видовження поверхневого шару.

Після видалення навантаження, пружно деформований підповерхневий шар намагається повернути поверхневий шар в початкове положення, утворюючи в ньому рівномірно розподілені напруження стиснення (див. рис. 3.12, а).

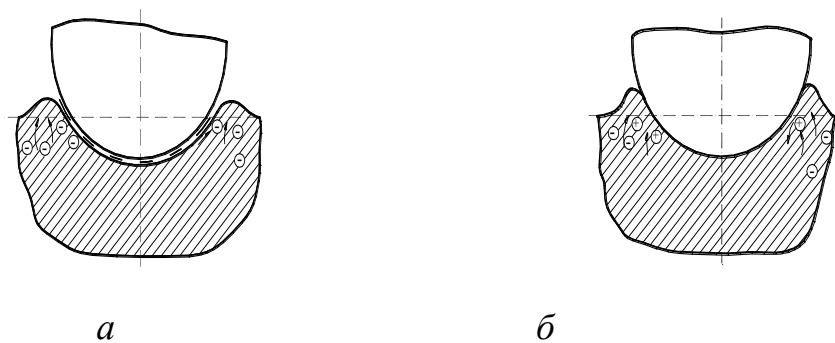


Рис. 3.12. Схема формування внутрішніх напружень:

*а* – при змащеному контакті;

*б* – при сухому контакті

При сухому контакті (рис. 3.12, б), поверхні, які контактують, зчіплюються через значне контактне тертя. Унаслідок цього деформація матеріалу розповсюджується вглиб від поверхні відповідно до принципу "найкоротших нормалей". При цьому підповерхневий шар деформується інтенсивніше, і у ньому виникають напруження стиснення, тоді як в поверхневому шарі формуються напруження розтягу.

Цей перепад напружень по глибині призводить до формування підшарового максимуму залишкових напружень та нерівномірностей відносної деформації. Отже, незалежно від механізмів зношування, руйнування поверхневих шарів починається в місцях концентрації напружень. З цього можна зробити висновок, що чинники, які впливають на зносостійкість, повинні сприяти деконцентрації внутрішніх напружень або їх рівномірному розподілу в об'ємі для запобігання накопиченню дефектів.

Отже, аналіз умов деформації для змащеного та незмащеного контакту при статичному вдавлюванні сферичного індентора привів до наступних висновків:

1. Глибина вдавлювання індентора в змащену поверхню більша в середньому на 8-10% порівняно з сухим контактом.
2. Відносна деформація матеріалу вглиб від поверхні по осі лунки деформації описується строго лінійною закономірністю у випадку змащеного контакту та нелінійною у випадку сухого контакту, що свідчить про рівномірне зниження напружень вглиб змащеної поверхні.
3. Рівномірний розподіл шару деформованих зерен в зоні деформації для змащеного контакту свідчить про рівномірний розподіл напружень в цій зоні.
4. Більш сприятливий напружений стан в області контакту між змащеними поверхнями призводить до зниження концентрації недосконалостей кристалічної будови (вакансій, дислокацій) в поверхневому шарі, що, відповідно, сприяє підвищенню зносостійкості порівняно з контактом поверхонь без змащування.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Взаємодія змінюється під час дробоструминної обробки

Кожна кулька має кінетичну енергію в момент удару об поверхню.

$$E_1 = \frac{mV_1^2}{2},$$

де  $m$  – маса кульки;

$V_1$  – швидкість кульки до удару.

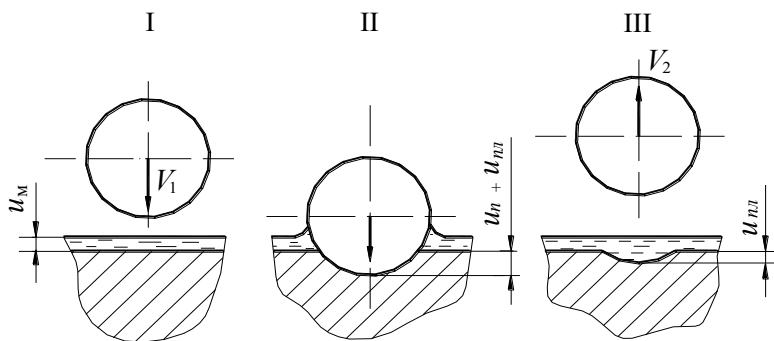


Схема взаємодії рухомої кульки з поверхнею з мастилом

Після відскоку кінетична енергія кульки становитиме:

$$E_2 = \frac{mV_2^2}{2},$$

де  $V_2$  – швидкість кульки після удару.

Під час взаємодії з змащеною поверхнею кулька проникає через мастильну плівку і внісця в поверхневий шар. Баланс енергій під час динамічного контакту кульки з змащеною поверхнею можна представити у такому вигляді:

$$\frac{mV_1^2}{2} - \frac{mV_2^2}{2} = E_m + E_\theta + E_{sv},$$

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $E_m$  – витрати енергії, які пов'язані з використанням мастильного матеріалу;

$E_\delta$  – енергія, що витрачається ;

$E_{зч}$  – енергія, витрачена на подолання сил міжмолекулярного зчеплення.

З урахуванням коефіцієнта відновлення при ударі  $k = V_2/V_1$  отримаємо:

$$\frac{mV_1^2}{2}(1-k^2) = E_m + E_\delta + E_{зч}.$$

Якщо мастильна плівка відсутня і контакт відбувається з сухою поверхнею, то виникають значні сили тертя між кулькою та поверхневим шаром, і частина енергії удару витрачається на їх подолання.

Рівняння для балансу енергій під час сухого контакту матиме наступний вигляд:

$$\frac{mV_1^2}{2}(1-k^2) = E_m + E_\delta + E_{зч}.$$

Проведемо аналіз отриманих виразів для балансу енергій при сухому і змащеному контакті кульки з поверхневим шаром твердого тіла. Припустимо умовно, що під час удару витрачається однакова кількість енергії при сухому та змащеному контакті (ліві частини отриманих рівнянь однакові). Тоді,  $E_m > E_i$  з врахуванням того, що частина енергії, витрачена на пластичну деформацію, більша при змащеному контакті, ми можемо припустити, що деформація відбувається на більшу глибину.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **4. Обґрунтування конструктивного рішення пристрою для дробоструминної обробки інструменту**

### **4.1. Обґрунтування потреби у створенні технології посилення пристрою для дробоструминної обробки**

Існують пристрої для дробоструминної обробки поверхонь, які складаються з бункера для робочого матеріалу, робочої голівки з обрамленою щітковим ущільнювачем порожниною, а також з дефлекторами. Ці пристрої об'єднані повітряними трубопроводами для нагнітаючого та відсмоктуючого повітря. Крім цього, у них є система очищення робочого матеріалу в ємності з рідиною, обладнання для очищення цієї рідини та вертикальний стрічковий транспортер з перфорованою стрічкою і закріпленими на ній перфорованими лопатами. Нижня частина цього пристрою занурена в ємність із рідиною. Також, ці пристрої можуть використовувати металеві або скляні кульки як робочий матеріал. Однак, недоліком цих пристроїв є їхнє складне будова.

Пристрій для дробоструминної обробки деталей може містити корпус з щілиноподібним клапаном, який складається з нерухомої частини, виготовленої у вигляді диска із щілиноподібними прорізами, і рухомої частини з можливістю обертання. Також у цьому пристрої може бути пружний елемент, резервуар для збирання дроби із забірним рукавом, трубопроводи для подачі транспортного газу і збалансування дозуючого тиску, а також пристосування з замикаючим штоком, що розташованим у центральній частині і має можливість взаємодії з електромагнітом. Також в цьому пристрої можуть бути трубопроводи для подачі дроби в зону обробки та додатковий трубопровід для підведення транспортного газу. Усередині корпусу цього пристрою розміщена камера стиску з підпружиненим поршнем, а на пристрої встановлений вал з можливістю взаємодії з поршневим кулачком. Камера стиску пов'язана з насадкою щілиноподібного клапану, рухливий елемент якого електрично з'єднаний з електромагнітом дозуючого пристрою. Ділянка корпусу камери стиску має спиралевидну канавку у верхній частині, і поршень

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може переміщатися вздовж неї та взаємодіяти з рухливим диском щілиноподібного клапану. Але і в цьому пристрої недоліком є складність конструкції, яка визначається наявністю усередині корпусу камери стиску підпружиненого поршня, вала з можливістю взаємодії з поршнем кулачком, і спиралевидної канавки на внутрішній поверхні корпусу камери стиску. Все це призводить до підвищення витрат на виготовлення робочих деталей цього пристрою.

#### **4.2. Вимоги до розробки**

При створенні пристрою для дробоструминної обробки повинні бути враховані наступні вимоги:

- Простота виготовлення.
- Висока надійність в роботі.
- Сумісність з різними інструментами і деталями.
- Зниження витрат праці при зміцненні за допомогою дробу.
- Дотримання вимог щодо пожежної і електробезпеки.
- Простота та зручність обслуговування.
- Висока швидкість процесу зміцнення інструменту та деталей за допомогою цього пристрою.
- Можливість використання як для поточних, так і для капітальних ремонтів.
- Необхідно запобігати негативному впливу на навколишнє середовище.

#### **4.3. Структура та принцип роботи пристрою для дробоструминної обробки інструментів і деталей**

Для вирішення вищезазначених завдань був розроблений пристрій для дробоструминної обробки деталей з метою зміцнення інструментів. Цей пристрій включає наступні компоненти:

- Корпус зі щілиноподібним клапаном, складаючись з нерухомої та рухомої частин, пружного елемента, резервуара для збору дробу з забірним рукавом.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



2. Нерухома 2 частина щілиноподібного клапана, яка представлена диском 5 із щілиноподібними прорізами 6.

3. Резервуар 7 для збору дробу із забірним рукавом 8.

4. Трубопровід 9 для підведення транспортуючого газу.

5. Трубопровід 10 для вирівнювання тиску дозуючого обладнання 11 із замикаючим штоком 12, який має можливість контакту з електромагнітом 13.

6. Трубопровід 14 для подачі дробу в зону обробки.

7. Додатковий трубопровід 15 для підведення транспортуючого газу в корпус 1.

8. Рукоятка 21, розташована в горизонтальному пазу 20 циліндричної частини корпусу 1, яка закріплена на бічній поверхні рухомої 3 частини щілиноподібного клапана.

9. У резервуарі 7 для збору дробу є вікно 22 для спостереження за дробоструминною обробкою деталей, а кінець трубопроводу 14 подачі дробу в зону обробки виконаний розширеним, що дозволяє рівномірно розподіляти потік дробу 23 по поверхні оброблюваної деталі 24, яка з'єднана з турбіною 25.

10. Нерухому 2 частину щілиноподібного клапана закріплено на корпусі 1 за допомогою штифтів 26.

Принцип роботи пристрою наступний:

Початково щілиноподібний клапан корпусу 1 закритий, бо щілиноподібні прорізи 17 рухомої 3 частини не збігаються із щілиноподібними прорізами 6 диска 5 нерухомої 2 частини. Дозуюче обладнання 11 утримує дроб внутрішньо. Перед початком дробоструминного зміцнення інструменту або деталі, якщо це необхідно, проводиться їх очищення. Резервуар 7 для збору дробу встановлюється під інструмент або деталь 24 на протилежному боці від напрямку потоку дробу. Транспортуючий газ під тиском, який становить 0,4 - 0,6 МПа, подається через трубопроводи 9 і 15. Газ входить у дозуюче обладнання 11 і ущільнює дріб 23, а потім виходить

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

через трубопровід 10 для підведення тиску до трубопроводу 14 для подачі дробу в зону обробки інструменту або деталі 24. Додатковий трубопровід 15 забезпечує транспортування газу в середину рухомої 3 частини щілиноподібного клапана корпусу 1. Поворотом рукоятки 21 у наскрізному горизонтальному пазу 20 циліндричної частини корпусу 1 з'єднання щілиноподібних прорізів 17 дна 16 рухомої 3 частини та щілиноподібних прорізів 6 диска 5 нерухомої 2 частини створюється прохід для транспортуючого газу через щілиноподібний клапан. Газ виходить через отвір конічної частини корпусу 1 і попадає на деталь 24. Під час роботи також включається електромагніт 13 за допомогою, наприклад, вимикача. Замикаючий шток 12 дозуючого обладнання 11 відкриває вихідний отвір. Дроб 23, діючи під впливом сили ваги та транспортуючого газу з дозуючого обладнання 11, подається в зону обробки та попадає на відокремлену деталь 24. Після дії на деталь 24, дроб 23 падає на дно резервуара 7 для збору дробу. Транспортуючий газ проходить через трубопровід 9 до дозуючого обладнання 11, створюючи розрядження в забірному рукаві 8, що забезпечує транспортування дробу 23 з резервуара 7 у дозуюче обладнання 11. Транспортуючий газ стискує дроб 23 і виходить через трубопровід 10, що рівномірно подає наступну партію дробу до оброблюваної деталі 24 або, в залежності від положення замикаючого штока 12, відчиняє вихід для очищення деталі від пилу. Після завершення процесу обробки, поворотом рукоятки 21 подача транспортуючого газу з додаткового трубопроводу 15 у корпус 1 закривається, контакти електромагніту 13 роз'єднуються, а замикаючий шток 12 дозуючого обладнання 11 закриває вихід дробу. Турбіну 25 вимикають, інструмент або деталь 24 перестає обертатися. Обладнання повертається у вихідне положення.

#### **4.4. Вибір оснащення та режимів обробки дробом для інструментів і деталей**

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наш асортимент включає сталевий дріб, який відповідає ГОСТ 11964-81 та має наступні характеристики:

- Литий дріб: від 0,3 до 3,6 номерів.
- Колотий дріб: від 0,3 до 2,2 номерів.
- Доступні два діапазони твердості: 365...545 HV і 545...830 HV.

Таблиця 4.1

Тип дробу	Розмір									
	0,3	0,5	0,8	1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2	3,6
Дріб сталева лита (ДСЛ)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Дріб сталева колота (ДСК)								–	–	–

Дріб, як колотий, так і ливарний, фасується в м'які контейнери типу МКР масою 1 тонну, які оснащені поліетиленовим вкладишем для захисту продукції від атмосферної корозії.

Таблиця 4.2

Технічні параметри дробу ливарної і колотої (ГОСТ 11964-81)

Щільність	не менше 7200 кг/м <sup>3</sup>	
Твердість	365HV...545HV 545HV...830HV	
Хімічний склад, %	<i>C</i>	0,8...1,2
	<i>Mn</i>	0,5 ... 0,7
	<i>Si</i>	0,5...0,7
	<i>S</i>	не більше 0,050
	<i>P</i>	не більше 0,050

Рекомендації щодо вибору типу дробу і його твердості варіюються в залежності від призначення та характеру роботи. Для загальних вказівок, можна дати наступне рекомендаційне керівництво (див. Таблицю 4.3):

Таблиця 4.3

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічні операції	Тип і номер дробу	Твердість HV	Глибина шару, мм
Зміцнення поверхні			
Пружини, ресори та інше	ДСЛ 0,5; 0,8; 1,0	450...550	0,50
Вали, тяги та інше	ДСЛ 0,5; 0,8	450...550	0,40
Лопаті турбін та інше	ДСЛ 0,5	450...550	0,40

Параметр	Дріб сталева колото (ДСК)	0,80				
		<0,20	0,20	0,30	0,50	0,80
$R_a$		6,20	9,50	12,30	16,60	20,00
$R_{max}$		50	76	89	113	140
$R_z$		36	61	71	96	115

Порівнюючи сталевий дріб з чавунним, сталевий дріб демонструє кращі характеристики. Він має вищу продуктивність на 1,5 - 2 рази, менше зносу обладнання на 1,5 рази та меншу витрату дробу на 2 - 5 разів.

Кращі експлуатаційні характеристики сталевого дробу сприяють зменшенню загальних витрат, таких як енергоресурси, транспортні витрати, витрати на заробітну плату, лакофарбові матеріали та інші.

При виборі оптимального виду дробу необхідно виконати наступні кроки:

1. Уточнити технічні умови:
  - Ціль використання дробу.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вимоги до стану поверхні (чистота та шорсткість).
- Початковий стан поверхні.
- Матеріал оброблюваної поверхні.
- Вимоги до виду покриття (якщо є), технічні вимоги щодо застосування та специфікації лакофарбових матеріалів.

2. Визначити параметри обладнання для дробеметання та дробоструминної обробки (модель обладнання, швидкість викидання дробу, тиск в соплах, діаметр сопла, розмір камери, витрату абразиву та його вид).

3. Обрати комбінацію параметрів, яка дозволить зменшити витрати матеріалу для захисного покриття, забезпечуючи при цьому достатню адгезію до оброблюваної поверхні.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧОЇ ДІЛЬНИЦІ ДРОБЕСТРУМЕННОЇ ОБРОБКИ

### 5.1. Паспортизація робочого місця під час зміцнення на дробострумінній установці

Метою паспортизації техніко-санітарного стану робочого місця є виявлення всіх виробничих небезпек з метою розробки інженерно-технічних та організаційних рішень для створення безпечних та сприятливих умов праці.

Послідовність заповнення карти умов праці:

1. Згідно із ГОСТ 12.1.005-88 визначається категорія робіт, і встановлюються оптимальні параметри мікроклімату.

2. За класифікацією з питань гігієни праці та іншими ресурсами визначається список факторів умов праці на робочому місці. Для цих факторів за нормативними документами встановлюються максимально допустимий рівень або максимально допустиму концентрацію (МДК, МДКС), які заносяться у стовпчики 1, 2 і 3 відповідно до таблиці.

3. Для кожного фактора умов праці проводиться інструментальний вимірювання фактичного значення цього фактора, використовуючи загальноприйняті методи. Для навчальних цілей, фактичні значення факторів умов праці можуть бути отримані з попередніх паспортизаційних досліджень або з літературних джерел.

4. Визначається коефіцієнт нормативного забезпечення:  $K_n = 1 \pm (A_v - A_n) / A_n$ , де  $A_v$  - виміряне значення факторів умов праці;  $A_n$  - нормативне значення фактора. Знак "+" використовується, коли розрахунок здійснюється на основі максимально допустимих значень нормативних параметрів  $A_n$ , а знак "-" - при використанні мінімально допустимих значень  $A_n$ . Результати розрахунків вносяться у стовпчики 5 та 6 таблиці 5.2.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Згідно з технологією проведення процесу визначається тривалість дії кожного фактора, і отримані результати записуються у стовпчики 6 та 7 таблиці 5.2.

6. Визначається коефіцієнт небезпеки Кдф для кожного фактора умов праці та для всіх діючих факторів К. Результати розрахунків заносяться у стовпчики 8 та 9 таблиці 5.2. Ці коефіцієнти розраховуються за наступними формулами:  $K_{дф} = K_n \times T_{дф}$ ;  $K = K_{дф} / p = 0,71 / 14 = 0,051$ , де  $T_{дф}$  - тривалість дії фактора;  $p$  - кількість факторів умов праці.

7. З таблиці 5.2 визначається ступінь шкідливості кожного фактора, і обчислюються початкова та розрахункова кількість балів  $X$  та  $X_{фак}$ . Розрахункова кількість балів  $X_{фак}$  визначається за допомогою наступної формули:  $X_{фак} = X \times T_{дф}$ . Початкова та розрахункова кількість балів вносяться відповідно у стовпчики 10–15 таблиці 5.1.

8. Початкова кількість балів визначається на основі Гігієнічної класифікації праці з урахуванням питань щодо шкідливості та небезпеки факторів виробничого середовища, складності та інтенсивності робочого процесу згідно з вимогами від 27 грудня 2001 року № 528. Призначення факторів до класу визначається з урахуванням часу дії факторів під час зміни. Щоб віднести умови праці до 3 класу, тривалість дії має становити не менше 50% часу зміни.

## **5.2. Розробка комплексу організаційних та технічних заходів для функціонування дільниці по зміцненню**

Роботодавець зобов'язаний розробити і впровадити такі заходи:

- план комплексних заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки та гігієни праці до відповідних нормативних вимог, а також покращення існуючих умов праці;
- розділ "Охорона праці" у колективному договорі;
- оперативні плани з охорони праці, розроблені службою охорони праці та керівниками структурних підрозділів підприємства.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до Закону України "Про охорону праці" (стаття 20, "Регулювання охорони в колективному договорі"), угоди сторін повинні передбачати забезпечення соціальних гарантій для працівників у галузі охорони праці на рівні, що не нижче встановленого законодавством. Також необхідно визначити комплексні заходи для досягнення норм безпеки, гігієни праці та умов виробничого середовища, а також для запобігання виробничим травматичним випадкам, професійним захворюванням, аваріям та пожежам. Для цього використовуються законодавчі акти, такі як Закон України "Про охорону праці", Закон України "Про оподаткування прибутку підприємств" і Постанова Кабінету Міністрів України № 994 від 27 червня 2003 року "Про перелік заходів та засобів з охорони праці, витрати на здійснення та придбання яких включаються до валових витрат".

Розрахунок системи заземлення для робочого електрообладнання майстерні Згідно з Правилами влаштування заземлення (ПВЕ - 98), системи заземлення повинні бути встановлені для усіх електроустановок при напрузі 380 В змінного струму, а також для тих при 42 В змінного струму, де існує підвищена небезпека, особливо небезпечні ситуації або для зовнішніх електроустановок. Заземлення знаходиться на глибині 70 см, ґрунт має глинисту консистенцію. Система заземлення виготовлена з газопровідних труб діаметром 52 мм та має довжину 2,5 м. Горизонтальна штаба виготовлена з металевієї полоси товщиною 10 мм та шириною 40 мм. Заземлення має питомий опір ґрунту  $\rho_r = 98 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , з урахуванням сезонності та впливу ґрунту на вертикальні заземлювачі.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЦІЛЕСПРЯМОВАНOSTІ ЗАСТОСУВАННЯ ДРОБЕСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ

### 6.1 Аналіз Виробничих Умов

Мета аналізу полягає в обґрунтуванні цілеспрямованості придбання та експлуатації технологічного обладнання та засобів, спрямованих на підвищення ефективності технічного обслуговування і поточного ремонту сільськогосподарської техніки. Під час розробки бізнес-плану, передбачається використовувати метод дробеструминної обробки для підсилень і деталей. При цьому враховуються такі умови для впровадження виробничо-комерційної діяльності:

1. Підприємство спеціалізується на наданні внутрішніх послуг з обслуговування тракторів та комбайнів, а також наданні послуг іншим господарствам Миколаївського району.

2. Фінансовий стан підприємства допускає використання лише власних коштів без залучення зовнішніх джерел фінансування. Усі витрати стартового періоду реалізації проекту покриваються за рахунок власних коштів.

3. Підприємство зобов'язане забезпечити постійну роботу для надання послуг.

4. Підприємство не може витратити кошти на інші цілі, які не передбачені в бізнес-плані.

Цей бізнес-план розроблено з метою обґрунтування доцільності використання технології дробеструминної обробки для підсилень і деталей у сільському господарстві. Для організації виробництва буде використовуватися існуюче виробниче приміщення, яке буде обладнане необхідними новими механізмами. Фінансування одночасних та поточних витрат в стартовому періоді здійснюватиметься за рахунок власних коштів ініціатора проекту. Загальна інвестиція в придбання технологічного обладнання становитиме 9000 грн. Підприємство спеціалізуватиметься на виконанні практично всіх видів

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічного обслуговування та поточного ремонту тракторів та комбайнів. Річний дохід від надання послуг становитиме 4878,46 грн. Період окупності капіталовкладень (інвестицій у придбання технологічного обладнання) складатиме 1,8 роки.

## 6.2 Продукція

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) є ефективним засобом для підвищення втомної міцності, стійкості до зносу і зменшення шорохуватості деталей машин. Використання універсального обладнання і доступного оснащення дозволяє застосовувати цей метод обробки в різних виробничих умовах. Під час виробництва та експлуатації деталей машин на їх поверхні виникають нерівності і мікронерівності, та металевий шар, який прилягає до поверхні, часто має іншу структуру, фазовий і хімічний склад порівняно з серцевиною, іноді містить залишкові напруження. Руйнування деталей часто починається саме з поверхні, наприклад, під час зношування, ерозії, втоми, контактної втоми та багатьох інших випадків. Тому структура поверхневого шару підвищує вимоги, порівняно з глибинними шарами деталей. Одним з ефективних і простих методів підвищення стійкості поверхневого шару є ППД. Він дозволяє збільшити тривалість служби деталей машин на 15-20%.

Таблиця 6.1

Деталі, що можна обробляти з допомогою установки

Марка трактора	Назва
1	2
Т-16М	Вал трубчатий СШ 24.22.123_1
	Ось блока шестерен Т17.37.128

Продовження табл. 6.1

1	2

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

	Вал відбору потужності Т17.38.198А
	Сухар СІШ 20.37.286
	Шестерня мала права Т17.38.104А
	Шестерня мала ліва Т16.38.105А
ЮМЗ-6Л	Валик плаваючий 36-240916
	Муфта з'єднувальна 36-249016
	Сателіт 36-2403024-А3
	Вал вторинний 40-170105
	Вал редуктора 40-170149А
	Вал ведучий привода ВОМ 46-1704026
	Вал привода ВОМ 36-1604023В
	Палець шарової 36-30325-Б1-01
	Сектор 45-340534
	Валик тормоза 40-351223
	Вал відбору потужності 45-422031
	Стабілізатор 75-68018
МТЗ-80	Вал первинний 48-1701032-А
	Вал проміжний 50-170181
	Вал проміжний 50-170182
	Вал 1-ї передачі заднього ходу 70-1702382
	Вал 72-220913
	Коробка права 52-2303114-Б
	Шестерня півосьова з заглушкою 52-233030
	Фланець 72-230817
	Вал 52-230863
	Півось 52-208065
	Шестерня права(ліва) 70-247053(70-2407063)
	Півось 50-240782-А
	Палець шарової 50-303021
	Вісь заднього ВВП 70-422018
Інструмент	Токарні різці: прохідні, упорні, підрізні, відрізні
	Фрези
	Протяжки

### 6.3. Виробничий План

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Виробничою базою буде існуюче виробниче приміщення, яке планується доукомплектувати необхідним устаткуванням. Планується встановити пристрій для дробоструминної обробки.

Виконання послуг пов'язане із наступними поточними видатками: • Оплата праці виробничого персоналу. • Витрати на електроенергію. • Ремонт і технічне обслуговування обладнання. • Витрати на амортизацію. • Інші видатки.

Витрати на оплату праці виробничого персоналу розраховуються на основі десятигодинної тривалості зміни і включають заробітну плату відповідно до роботоємкості різних видів обслуговування та середньої тарифної ставки, а також нарахування на фонд оплати праці.

Витрати на електроенергію розраховуються, виходячи з встановленої потужності електричного обладнання, коефіцієнту його одночасної роботи (який для даного обладнання становить 0,6), тривалості роботи обладнання та ціни 1 кВт-години електроенергії.

Витрати на амортизаційні відрахування розраховуються виходячи з вартості обладнання та річної норми амортизації - 15,0%.

Таблиця 6.2  
Машини і устаткування

Назва обладнання	Купі вля чи оренда	Но ве чи вживане	Варті сть, грн	Постачальник обладнання
Установка для дробоструминної обробки	Купі вля	Но ве	42000	ПП «Спецобладнання»

Загальновиробничі витрати включають витрати на оплату послуг банківських установ та непередбачені витрати. Розмір цих витрат узагальнено на рівні 10% від фонду оплати праці без включення нарахувань.

Таблиця 6.3

## Потреба в працівниках

Категорія персоналу	Необхід на чисельність	Клас, розряд робітника	Годинна тарифна ставка, грн.	Заробітна плата , грн.	Нарахування на ФОП, грн.	ФОП з нарахуваннями, грн.
Оператор	1	IV	7.91	1662.1	624.60	2295.7
Разом	1	–		1662.1	624.60	2295.7

Зарплата визначається, враховуючи доходи громадян України станом на 2022 рік:

Мінімальна зарплата в Україні в 2022 році становила 6,000 гривень на місяць.

Погодинна ставка токаря 4-го розряду була 7,91 гривень.

Середня кількість робочих годин в місяць складала 210 годин.

Отже, за рік заробітна плата токаря 4-го розряду складала: 6,000 грн/міс \* 12 місяців = 72,000 гривень.

Залежно від розміру оподаткування для фізичних осіб-підприємців (ФОП) в 2022 році, нарахування на ФОП може варіюватися. Зазвичай ФОП сплачують податок на прибуток за ставкою 5% на прибуток та 22% внески до Пенсійного фонду та інших соціальних фондів.

За умови, що ФОП оподатковується за мінімальною ставкою, нарахування на ФОП складатиме: 72,000 грн \* 0.05 (податок на прибуток) + 72,000 грн \* 0.22 (внески) = 3,600 гривень + 15,840 гривень = 19,440 гривень.

Разом витрати на заробітну плату токаря 4-го розряду за умови оподаткування як ФОП становитимуть: 72,000 грн (зарплата) + 19,440 грн (нарахування на ФОП) = 91,440 гривень.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.4

## Розрахунок витрат на амортизацію і ремонт

Назва обладнання	Балансова вартість. грн	Норма амортизації. %	Сума амортизаційних відрахувань. грн	Відрахування на ремонт. %	Сума витрат на ремонт. грн
Установка для дробоструменної обробки	42000	17	1025	5	310

Розрахунок амортизаційних відрахувань та відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування проводиться наступним чином:

Сума амортизаційних відрахувань розраховується з використанням норми амортизації в розмірі 15% на активну частину основних засобів. В даному випадку, вартість обладнання без ПДВ складає 7500 гривень, тому амортизація становитиме:  $7500 \text{ грн} * 0,15 = 1125 \text{ гривень}$ .

Сума відрахувань на ремонт розраховується за нормою 4% від балансової вартості обладнання на рік. Ремонт для цього прикладу становить:  $7500 \text{ грн} * 0,04 = 300 \text{ гривень}$ .

Отже, амортизаційні відрахування складають 1125 гривень, а відрахування на ремонт становлять 300 гривень.

Таблиця 6.5

## Витрати на електроенергію

Перелік обладнання	Марка	Встановлена потужність. кВт
Токарно-гвинторізний станок	ДУ	11
Ефективний фонд часу роботи обладнання, годин		2550

									Арк.
									78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ				

на рік	
Всього спожить електроенергії. кВт	15250
Вартість 1 кВт. грн	0,74
Витрати на електроенергію. грн	10974,8

Ефективний фонд часу роботи обладнання розраховується на основі однозмінного режиму роботи при тривалості робочої зміни 10 годин і п'ятиденного робочого тижня. При цьому враховується коефіцієнт одночасної роботи електрообладнання, що дорівнює 0,6.

У даному випадку: Ефективний фонд часу роботи обладнання = 254 дні \* 10 год/день = 2540 годин.

Далі розрахунок спожитої технологічної електроенергії проводиться з урахуванням цього ефективного фонду часу: Спожита електроенергія = 10 год/день \* 2540 годин \* 0,6 = 15240 кВт.

Таблиця 6.6

Річні виробничі витрати

Статті витрат	Сума. грн
Оплата праці персоналу з нарахуваннями	27328,48
Електроенергія	10982,80
Амортизаційні вирахування	1225
Ремонт та ТО обладнання	310
Загальногосподарські витрати	27328,48
Загальновиробничі витрати	2800
Разом	69724,76

Затрати на 1 год. роботи станка:

$$\frac{69714,76}{2540} = 27,45 \text{ грн.}$$

Змінні витрати: 10972,80 + 27308,48 = 38281,28 грн.

Змінні витрати на 1 нормо-годину роботи станка:

$$\frac{38281,28}{2540} = 15,07 \text{ грн.}$$

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз поточного стану технології та технічних засобів для обробки деталей методом поверхневої пластичної деформації, зокрема дробоструминною обробкою, показав, що використання цього методу є одним із ефективних способів для підвищення довговічності інструменту і деталей. Існуючі технології зміцнення інструменту характеризуються високою складністю і значними витратами, що робить їх вартість наразі неприйнятною.

2. Запропоновані методи зміцнення твердосплавних інструментів для обробки деталей із високоміцного чавуну за допомогою дробоструминної обробки.

3. Досліджено ефективність твердосплавного інструменту після дробоструминної механічної обробки високоміцного чавуну з різною структурою металевої матриці. Дробоструминне зміцнення у розглянутих умовах призвело до збільшення середнього терміну служби ріжучих пластин від 1,7 до 2,6 разів.

4. Важливо зауважити, що при обробці високоміцного чавуну з кульковидним графітом характерним є втомне стирання ріжучої кромки. Дробоструминне зміцнення твердого сплаву призводить до підвищення стійкості і міцності інструменту, якщо величина радіуса округлення ріжучих кромки не перевищує 15 - 20 мкм. Таким чином, дробоструминне зміцнення твердосплавного інструменту виявляється ефективним засобом для підвищення його надійності шляхом збільшення терміну служби і зменшення залишкових напружень стиску в поверхневому шарі. Результати проведених досліджень показують, що дробоструминне зміцнення є ефективним методом для підвищення працездатності та надійності твердосплавного інструменту при обробці деталей із високоміцного чавуну.

5. Розроблена нова технологія зміцнення інструменту і деталей методом поверхневої пластичної деформації за допомогою спеціально

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробленого пристрою для дробоструминної обробки. Використання цього пристрою спрощує конструкцію обладнання для дробоструминної обробки деталей, підвищує його зручність в експлуатації і дозволяє проводити обробку інструменту і деталей, забезпечуючи необхідну шорсткість і високий рівень активації оброблюваної поверхні.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородніков В.А. Оцінка деформованості металів під час обробки тиском / В.А. Огородніков. - К.: Вища школа, 1983. - 175 с.
2. Соннцев Л.А. Отримання чавунів підвищеної міцності/Л.А. Сонців, А.М. Зайденберг, А.Ф. Малий. - Харків: Вид-во при Харк. ун-ті, 1986. – 152 с.
3. Лалазарова Н.А. Вплив неоднорідності високоміцного чавуну з його оброблюваність різанням / Н.А. Лалазарова // Вісник ХДАДТУ. – 2000. – № 12 – 13. – С. 86-87.
4. Бабей Ю.І. Фізичні основи імпульсного зміцнення сталі та чавуну / Ю.І. Бабій. – Київ: Наукова думка, 1988. – 240 с.
5. Путятіна Л.І. Дослідження працездатності інструменту при зміцнювальній механічній обробці високоміцного чавуну / Л.І. Путятіна, Л.А. Тимофєєва, Н.О. Лалазарова // Вісник НТУ "ХПІ": 36. наук, праць. Тематич. випуск: Технології у машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. – № 19. – С. 81-84.
6. Любимов В. Г. Різання сталі Г12 у нагрітому стані / В. Г. Любимов. – Львів, 1958. – 70 с.
7. Пронько Г. Ф. Електроіскрове виготовлення деталей з нержавіючих та високомарганцевих сталей / Г. Ф. Пронько // Електроіскрова обробка металів. - Вип. 2. – 1960. – С. 98-101.
8. Грянiк Г.М. Охорона праці/Г.М. Грянiк, С.Д. Лехман - Київ: Урожай, 1994. 237 с.
9. Кулаков М.А. Цивільна оборона: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М.А. Кулаков та ін. За ред. проф. В.В. Березуцького. – Х.: Факт, 2008. – 312 с.
10. Андрійчук В.Г. Економіка аграрних підприємств/В.Г. Андрійчук. - К.: ІЗ МЧ, 1996. - 512 с.
11. Бізнес – планування та розробка стратегій. ЕІ – ТАСІС Progect PRUK 9801 Enterprise Support Programme. Україна.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Бурковський І.Д. Оснащеність аграрного сектору АПК технікою та забезпечення ефективного її використання в умовах становлення ринкових відносин / І.Д. Бурковський, О.М. Гаркуша, І.В. Гончаренка. - К.: ІАЄ УААН, 2000. - 184 с.

13. Гладій М.В. Використання виробничо-ресурсного потенціалу аграрного сектора економіки України( питання теорії, методології та практики) Монографія / М.В. Гладій. - Львів, 1998. - 294с.

14. Бутаков Б.І. Підвищення надійності деталей машин за допомогою обкатування їх роликками із стабілізацією робочого зусилля / Б.І. Бутаков, В.А. Артюх, І.В. Радченко // Ефективність реалізації наукового ресурсного та промислового потенціалу в сучасних умовах: зб. наук. праць. - К., 2012. - С. 201 - 207.

15. Бутаков Б.І. Лабораторні дослідження зносостійкості пари тертя сталевий вал та бронзовий вкладиш за різних режимів обкатування роликками / Б.І. Бутаков, В.А. Артюх, І.В. Радченко // Матеріали VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Перспективна техніка та технології – 2011» (14 – 16 вересня 2011 року). - Миколаїв: МДАУ, 2011. - С. 14 - 27.

					МРТАМ 23. 19072.00.00 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		