

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»


Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Ультразвукове поверхнєве зміцнення деталей машин із
керованою мікрогеометрією»

Шифр: МРМТВА 24. 23612.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВАм -24-1  Т.А. Лісовий

Керівник

 д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

11 12 2024 р.

Хмельницький, 2024 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
" 15 " жовтня 2024 р. Диха О.В.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Лісовий Тарас Анатолійович

1. Тема роботи:

«Ультразвукове поверхневе зміцнення деталей машин із керованою мікрогеометрією»

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

Затверджено наказом університету від 26 серпня 2024р. № 60

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 20.12.20.24 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Дані про умови роботи ультразвукового обладнання
- 2) Технічні умови на показники якості технологічних поверхонь деталей автомобілів
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація по способам підвищення зносостійкості поверхнево-пластичною обробкою
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Обґрунтування актуальності впровадження технології підвищення якості поверхневого шару деталей машин
2. Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів методів і особливостей обробки деталей машин поверхневим пластичним деформуванням
3. Дослідження обробки поверхневого шару деталей машин ультразвуковим пластичним деформуванням
4. Розробка пристроїв для зміцнення поверхневого шару деталей машин ультразвуковим пластичним деформуванням

5. Консультанти розділів роботи


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

6. Дата видачі завдання: 30 вересня 20.24р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обґрунтування актуальності впровадження технології підвищення якості поверхневого шару деталей машин	1.11.20.24	
2	Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів методів і особливостей обробки деталей машин поверхневим пластичним деформуванням	15.11.20.24	
3	Дослідження обробки поверхневого шару деталей машин ультразвуковим пластичним деформуванням	1.12.20.24	
4	Розробка пристроїв для зміцнення поверхневого шару деталей машин ультразвуковим пластичним деформуванням	15.12.20.24	
5	Підготовка публікації	15.12.20.24	
6	Оформлення презентаційних матеріалів	20.12.20.24	

Студент

 Лісовий Т.А.

Керівник роботи

 Диха О.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 188 сторінок, кількість рисунків - 28, таблиць - 1, додатків - 2, кількість джерел згідно із переліком посилань - 16.

Студент гр. МТВАМ-24-1 Лісовий Т.А.

Тема «Ультразвукове поверхнєве зміцнення деталей машин із керованою мікрогеометрією»

Серед перспективних методів ППД є ультразвукове по-поверхнєві пластичне деформування (УЗПД), що дозволяє управляти в широкому діапазоні параметрами напружено деформаційному стану, структурою і мікрогеометрією поверхні завдяки механіко-фізичній специфіці обробки.

В роботі розглядався вплив окремих параметрів режиму обробки та жорсткості обробленої деталі на виникнення хвилястості. Проведені актуальні дослідження формування геометричних станів поверхні в умовах ультразвукової поверхневої пластичної деформації металів і сплавів.

1. Проаналізовані сфери застосування ультразвукових методів обробки в машинобудуванні

2. Наведений критичний аналіз методів поверхнево-пластичного зміцнення робочих поверхонь деталей.

3. Досліджений вплив обробки деталей машин поверхневим пластичним деформуванням на якість і властивості зміцненого шару

4. Проведені теоретичні дослідження по формуванню геометрії поверхні при ультразвуковій пластичній деформації

5. Надані технологічні рекомендації по застосованій УЗПД для обробки матеріалів різної твердості

6. Розроблені пристрої і технологічні рекомендації щодо застосування ультразвукового пластичного деформування для обробки деталей різних класів.



Перелік ключових слів: Ультразвукова обробка, поверхнево-пластичне зміцнення, якість поверхні, мікротвердість, хвилястість, технологічні пристрої

дата
завдання
прийняв

Примітка

Зміст

Вступ	6
1. Обґрунтування доцільності впровадження технології підвищення якості поверхні механічних деталей	7
1.1. Сутність і види ультразвукових методів обробки матеріалів	7
1.2. Обґрунтування теми та формулювання задач досліджень	28
2. Огляд літературних відомостей та патентно-інформаційних матеріалів щодо способів обробки та характеристик механічних деталей поверхневим пластичним деформуванням	31
2.1. Спосіб обробки поверхневою пластичною деформацією	31
2.2. Вплив обробки механічних деталей поверхневою пластичною деформацією на якість і властивості шару армування	51
3. Дослідження обробки поверхні механічних деталей ультразвуковою пластичною деформацією	58
3.1. Методика експериментальних досліджень	58
3.2. Теоретичні дослідження по формуванню геометрії поверхні при ультразвуковій пластичній деформації	64
3.3. Експериментальні дослідження	64
3.4. Технологічні рекомендації по застосованій УПО для обробки матеріалів різної твердості	66

МРМТВА 24.23612.000.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Лісовий		
Перевір.		Диха		
Н.контр.		Бабак		
Затвер.		Диха		
Ультразвукове поверхнєве зміцнення деталей машин із керованою мікрогеометрією				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
		6	86	
ХНУ, гр. МТВАм-24-1				

4. Розробка пристроїв для зміцнення поверхневого шару деталей машин ультразвуковим пластичним деформуванням

4.1. Обґрунтування необхідності розробки

4.2. Вимоги, які ставляться до розробки

4.3. Будова і принцип роботи пристроїв для зміцнення поверхневого шару деталей машин ультразвуковим пластичним деформуванням

Висновки

Список літератури

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Метод поверхневої пластичної деформації (ППО) широко використовується на виробництвах для забезпечення високих експлуатаційних показників механічних частин.

Серед методів ППО перспективним є ультразвукова поверхнева пластична деформація (УПО). Це дозволяє завдяки механічній і фізичній специфіці процесу контролювати широкий діапазон параметрів напружено-деформованого стану, структури поверхні та мікрогеометрії. Численні дослідження показали, що УПО можна застосовувати до широкого діапазону матеріалів, від цементованих карбідів до конструкційних сталей і кольорових металів. Однак, як зазначено в багатьох дослідженнях, обробка UPR поверхні деталей, виготовлених з таких матеріалів, має наступний потенціал для формування схожості з вовною та покращення властивостей шляхом зміни жорсткості технічної системи. Ультразвукова коливальна система. При цьому розглядався вплив окремих параметрів режиму обробки та жорсткості обробленої деталі на виникнення хвилястості. Проте механізм утворення такого типу нерівностей та його математична залежність від режиму обробки геометричних параметрів вивчені недостатньо, тому передбачити геометричний стан поверхні під час УПР неможливо. Актуальними є дослідження формування геометричних станів поверхні в умовах ультразвукової поверхневої пластичної деформації металів і сплавів.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. Обґрунтування доцільності впровадження технології підвищення якості поверхні механічних деталей

1.1. Сутність і види ультразвукових методів обробки матеріалів

Ультразвукові коливання використовуються для обробки матеріалів з початку 1950-х років. Обробка ультразвуком – це процес, у якому для видалення матеріалів використовуються інструменти, які вібрують на ультразвукових частотах. Обробка може відбуватися на частотах як ультразвукового, так і акустичного діапазонів. Однак найкращі режими обробки забезпечуються на частотах від 6 до 25 кГц (нижня межа ультразвукового діапазону). З цієї причини цей метод отримав назву ультразвукової терапії.

Ультразвук розвивається в двох напрямках.

1) Розмірна ультразвукова обробка матеріалів у середовищі абразивної суспензії.

2) Застосування ультразвукових коливань до різального інструменту під час нормального процесу різання.

Ультразвукова обробка успішно використовується у виробництві деталей з твердих і важкооброблюваних матеріалів. Крім того, на відміну від попередніх методів (гальванічна корозія, електрохімічна), ультразвукова обробка може бути використана як для провідних, так і для непровідних матеріалів.

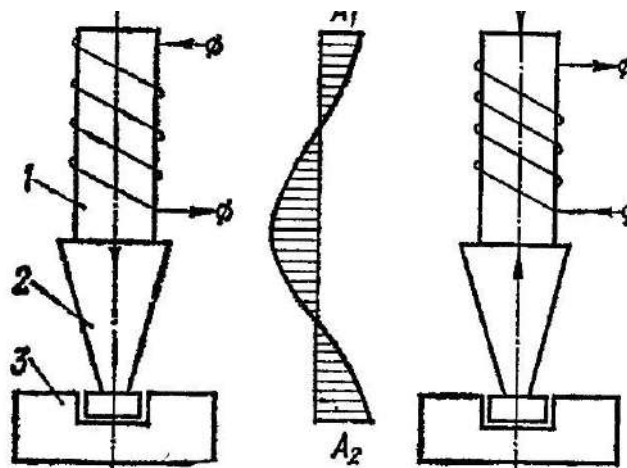
Джерелом електричної енергії на звукових або ультразвукових частотах може бути машина або ламповий генератор. Серійно випускається кілька типів генераторів, які встановлюються на машинах різних конструкцій. Тому для машин середньої потужності випускають генератори типу УЗМ-1,5 номінальною потужністю 1,5 кВт.

Електрична енергія ультразвукових частот перетворюється в звукову енергію ультразвукових механічних коливань за допомогою спеціальних

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

перетворювачів. Найбільш поширеними перетворювачами є магніострикційні перетворювачі та п'єзокераміка. Як правило, магніострикційні перетворювачі використовуються для промислового виробництва ультразвукових коливань з частотою від 16 до 25 кГц. Магніострикція — властивість феромагнітних матеріалів (залізо, нікель), яка змінює розмір під дією магнітного поля. Магніострикційне подовження зазвичай дуже мале, але при роботі в гармонійному режимі явище механічного резонансу може бути використано для значного збільшення гармонічної амплітуди.

У магніострикційному перетворювачі під дією змінного електромагнітного поля ультразвукової частоти магніострикційний елемент змінює свою довжину і періодично розтягується (рис. 1.1, а) і стискається (рис. 1.1, б).



а) б)

Рисунок 1.1 – Коливання магніострикційного перетворювача

На діаграмі. На мал. 1 показаний графік напруг стискання і розтягування в системі магніострикційний елемент 1-концентратор-2. Щоб зменшити втрати, сердечники перетворювача зазвичай виготовляють із тонких листів магніострикційного матеріалу. Для отримання резонансу довжина сердечника повинна бути кратною половині довжини звукової хвилі.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Магніострикційний пакет перетворювача (набір тонких пластин магніострикційного матеріалу) вібує з малими амплітудами, якщо помістити його в електромагнітне поле, яке змінюється на ультразвукових частотах. Навіть в резонансному режимі амплітуда вібрації на торці магніострикційного перетворювача не перевищує 5-10 мкм. Для збільшення амплітуди коливань до необхідних значень (30-80 мкм) на кінці магніострикційного перетворювача встановлюють концентратор 2 для концентрації акустичної енергії в кінці малої ділянки. Втулка з'єднує магніострикційний перетворювач з інструментом. Концентратору надається форма, яка забезпечує максимально можливу амплітуду вібрації на кінці інструменту. Форма інструменту, що коливається на ультразвукових частотах, передається на матеріал заготовки 3.

Експоненціальний і ступінчастий концентратори найбільш широко використовуються в розмірній ультразвуковій обробці. На першій ділянці поздовжній переріз змінюється за степеневим законом. Тобто амплітуда вібрації збільшується пропорційно відношенню торцевого діаметра.

Розмірна ультразвукова обробка відноситься до контрольованого руйнування оброблених матеріалів в результаті імпульсного ударного механічного впливу інструменту на матеріал в абразивному середовищі. Принцип тривимірної ультразвукової обробки показаний на малюнку. 1.2.

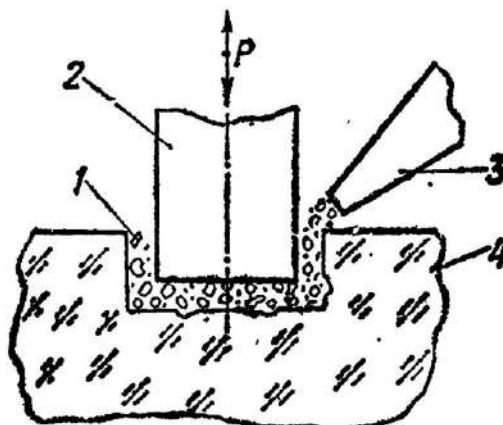


Рисунок 1.2 – Схема ультразвукової обробки

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Інструмент 2 здійснює механічні коливання з частотою 4–30 кГц і амплітудою 0,01–0,06 мм. Абразивна суспензія 3 (абразив у воді) подається в робочу зону, тобто зазор між кромкою інструмента 2 і заготовкою 4. Частинки 1 абразивного матеріалу поступово обробляються ударом удару вібраційного інструменту (частинки матеріалу вибиваються). Хоча розмір сколених частинок в оброблюваному матеріалі невеликий, удар і велика кількість абразивних зерен (до 200-100 тисяч штук на см³) призводять до відносно сильного видалення матеріалу. Шляхом зіскоблювання частинок матеріалу абразивом форма обробного інструменту передається заготовці.

Дослідження довели, що видалення матеріалу під час обробки є насамперед результатом прямого удару кромки інструменту об абразивні зерна на поверхні обробки. Кавітація дуже важлива при руйнуванні матеріалів. Кавітація полягає в утворенні і закриванні порожнин в рідині під впливом ультразвукових коливань. Порожнини утворюються в результаті розриву рідини під час напівперіоду розтягування на так званому ядрі кавітації і закриваються під час напівперіоду стиснення. Коли порожнина закривається, тиск усередині порожнини швидко зростає (як під час вибуху), що призводить до вивільнення імпульсу стиснення. При зануренні зерен абразиву в матеріал під впливом інструменту на обробленій поверхні утворюються мікротріщини. Створюється зона напівдеградованого матеріалу, і чим більше площа, тим нижча міцність і тим більш пористий і крихкий стає матеріал. Полірувальна суспензія проникає в пори, здавлює їх і видаляє продукти руйнування із зони обробки під впливом явища кавітації.

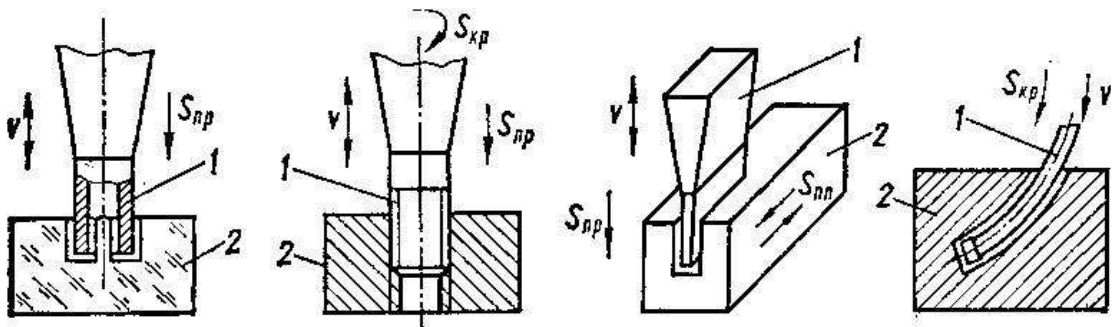


Рисунок 1.3 – Кінематична схема ультразвукової розмірної обробки

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

При ультразвуковій обробці розмірів розрізняють основний різальний рух, поздовжню вібрацію інструмента через ультразвукову частоту та допоміжний рух подачі.

Принципова схема апарату УЗД наведена на малюнку. 1.4.

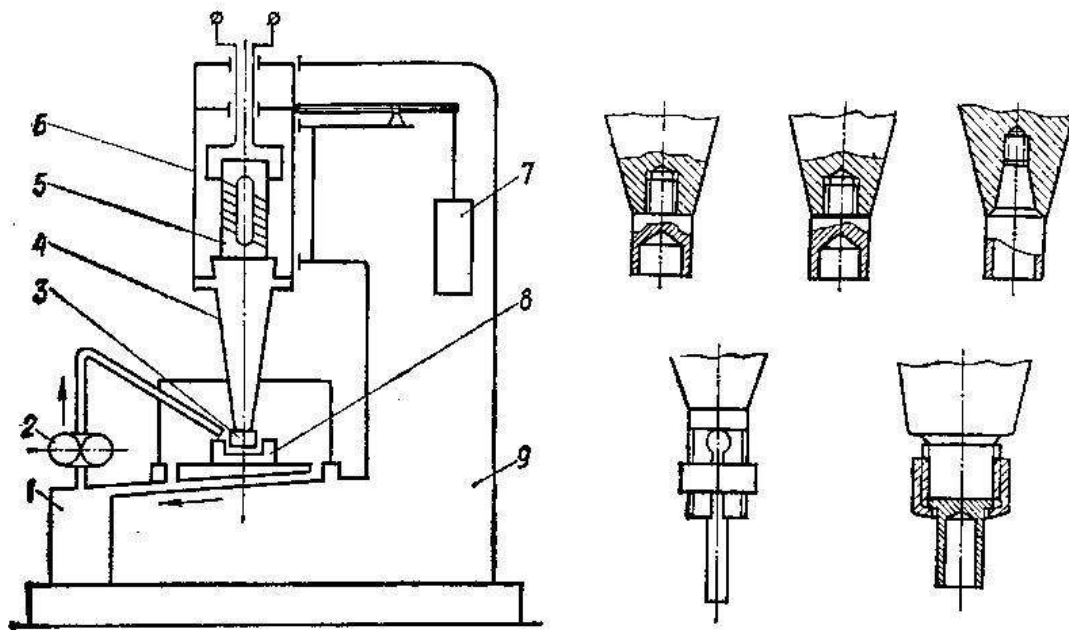


Рисунок 1.4 – Схема ультразвукової машини

Допоміжні рухи під час ультразвукового лікування можуть бути різними. Можлива кінематична схема ультразвукової вимірювальної обробки. Звідси ми бачимо, що допоміжний рух може бути у формі поздовжньої подачі, поперечної, кругової або комбінації обох. Використання допоміжних рухів значно розширює можливості цього методу і може бути застосовано для заповнення порожнин, вирізання отворів, операцій різання, заповнення криволінійних порожнин тощо.

Від генератора на обмотки водоохолоджуваного магнітострикційного перетворювача 5 подаються електричні коливання високої частоти. Концентратор 4 і робочий інструмент 3 міцно з'єднані з перетворювачем. Вібраційна система кріпиться до акустичної головки 6. Він розташований на

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

станині 9 машини. Спеціальний пристрій забезпечує необхідне зусилля для подачі інструменту в заготовку 8. Це робиться за допомогою системи важелів і противаги 7, як показано на малюнку 59.

Абразивний шлам подається з ємності в зону обробки насосом 2. Стационарні ультразвукові апарати, які використовуються в даний момент, поділяються на три основні групи: апарати малої потужності (від 30 до 300 Вт), апарати середньої потужності (від 0,35 до 1,5 кВт) і апарати високої потужності (від 1,6 до 4 кВт).

Верстати малої потужності застосовують для обробки неглибоких отворів малого діаметра (0,15-1,5 мм). Габарити таких машин невеликі. Конструктивно нагадує настільний свердлильний верстат. До машин середньої потужності відносяться моделі 4770, 4772 і 4772А.

Одним з найважливіших і відповідальних компонентів ультразвукового апарату є акустична головка, яка являє собою комбінацію магнітострикційного перетворювача та ультразвукового інструменту. Ультразвукові інструменти являють собою комбінацію концентруючого пристрою і закріпленого на ньому робочого інструменту. З'єднання між інструментом і втулкою може бути постійним або роз'ємним. Машина типу 4773А є однією з найбільш продуктивних і потужних ультразвукових машин, відомих на сьогоднішній день.

Матеріали, призначені для виготовлення ультразвукових інструментів, повинні мати хороші еластичні властивості, високу постійну міцність, хорошу оброблюваність і низьку вартість. Втрати акустичної енергії у високовуглецевих і легованих сталях значно нижчі, ніж у низьковуглецевих. Звичайно, для виготовлення збагачувальних установок і робочого інструменту рекомендується використовувати хромовану сталь 40Х, пружинну 60С2, 65Г. При роботі з високими амплітудами ($A > 50$ мкм) рекомендуємо використовувати інструменти зі сталі 18Х2Н4БА.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Концентратор з титанового сплаву забезпечує максимальну амплітуду вібрації.

Ультразвукова розмірна обробка відбувається в абразивному середовищі. Як абразиви використовують карбід бору, карбід кремнію, електрокорунд.

При ультразвуковій обробці твердість абразивних зерен повинна бути вищою за твердість оброблюваного матеріалу, тому карбід бору в основному використовують для ультразвукової обробки матеріалів, які важко обробляти. Для обробки ультразвуком крихких матеріалів використовують дешеві та рідкісні абразиви (чорний карбід кремнію, електрокорунд). Карбід кремнію твердіший за електрокорунд і проявляє дуже високі ріжучі властивості при обробці скла. Однак карбід кремнію, особливо зелений карбід кремнію, дуже крихкий. Тому його непрактично використовувати при обробці твердого сплаву або загартованої сталі.

Продуктивність процесу сильно залежить від властивостей абразиву та його концентрації в суспензії. Збільшення розміру і твердості абразивного зерна підвищує продуктивність ультразвукової обробки, особливо в діапазоні розмірів зерна 0-60 мкм. Подальше збільшення розміру абразивного зерна підвищує продуктивність. Швидкість обробки буде меншою. Максимальна продуктивність досягається при використанні середньозернистих абразивів, але концентрація абразиву повинна бути в межах 30-40% від загальної маси суспензії.

На продуктивність сильно впливає суспензійна полірувальна рідина. Звичайна вода дає найкращі результати, оскільки вона має низьку в'язкість, хороші зволожувальні та охолоджувальні властивості. Ми рекомендуємо додати у воду невелику кількість інгібітора корозії. Якщо в суспензії використовувати різні масла, гас, гліцерин або дистильовану воду, продуктивність ультразвукової обробки буде знижена в 5-10 разів.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Зі збільшенням глибини обробки погіршуються умови відновлення абразивного шламу, що призводить до зниження продуктивності обробки.

Рекомендується використовувати циркуляційну систему для подачі абразивної суспензії, щоб покращити умови відновлення абразиву в кінці інструменту та зробити концентрацію абразиву більш рівномірною в робочій зоні. Застосовують також періодичний підйом і опускання інструменту, подачу суспензії через канали концентратора, подачу суспензії під тиском.

Збільшення площі інструменту призводить до зниження продуктивності обробки, що можна пояснити зменшенням амплітуди вібрації. Велика площа інструменту також значно погіршує умови для проникнення нових абразивів у робочу зону та видалення продуктів зносу.

З ультразвуковими машинами при обробці скла можна досягти продуктивності до 1000-1500 мм³/хв на додатковий кВт потужності. При обробці твердого сплаву продуктивність 20-25 мм³/хв.

Шорсткість обробленої поверхні визначається багатьма факторами, включаючи розмір абразивного зерна, амплітуду вібрації інструменту та шорсткість поверхні інструменту. Зокрема, найбільший вплив на шорсткість поверхні має розмір частинок. Зі зменшенням розміру частинок шорсткість поверхні також зменшується. Під час обробки ультразвуком отвір буде зламано. Тобто його розміри трохи більші, ніж у відповідного інструменту. Розмір зламу залежить від розміру частинок абразиву. Тому при застосуванні абразивів із зернистістю No 10 руйнування отворів досягає 0,4-0,5 мм, а при використанні дрібнозернистих абразивів руйнування отворів зменшується до 0,03-0,06 мм. Для підвищення точності обробки бічні розміри інструменту слід регулювати з урахуванням розмірів абразивних зерен. У процесі ультразвукової обробки відбувається конусність отвору. Найбільше на конусність впливає розмір частинок абразиву. При свердлінні отворів глибиною від 5 до 10 мм конусність буде в межах 0,025-0,01 мм. Найвища

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		15

точність обробки ($\pm 0,005$ мм) гарантується при використанні дрібних порошків.

Під час ультразвукової обробки знос інструменту відбувається в основному на кромках, що становить 1-1,5% для обробки скла та 40-50% об'єму видаленого металу для обробки цементованим твердим сплавом.

Ультразвукова розмірна обробка має такі переваги перед іншими видами обробки:

1) Можливість використання у виробництві струмопровідних частин і матеріалів, що не проводять струм.

2) Висока точність обробки (до 0,01-0,02 мм) і висока якість обробки поверхні.

3) Відсутній локальний нагрів деталі в зоні обробки і дефектний шар на поверхні обробки.

4) Відносно висока продуктивність при обробці твердих і крихких матеріалів.

Основними недоліками ультразвукового лікування є:

1) Складність проектування та виготовлення ультразвукової апаратури. Це пов'язано з необхідністю проведення акустичних розрахунків.

2) Цей метод не підходить для обробки в'язких і важкооброблюваних матеріалів.

Ультразвукове вимірювання використовується для виконання наступних завдань: виготовлення, перевірка, ремонт матриць, пуансонів, твердосплавних валків, обробка алмазних валків, годинникових каменів, різальних інструментів, гравірування деталей, пазів і пазів, виготовлення крихких матеріалів і твердих матеріалів. Ультразвукова обробка твердих металевих матриць, прес-форм, ливарної опалубки та виготовлення малих штампових матриць може скоротити трудомісткість у 5-20 разів порівняно з процесами виробництва металу.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Обробка сферичної поверхні твердосплавної основи кульок підшипника займає 10-15 хвилин (припуск на обробку 1 мм), а методом обробки – 3-4 години. Для отримання високоякісної твердосплавної поверхні прес-форми обробку проводять з максимальною продуктивністю з амплітудою вібрації інструменту 50-60 мкм. Для чорнової обробки використовуйте абразиви № 10 і № 6, а для фінішної обробки використовуйте менший абразив № 3. Як правило, обробка виконується за один чорновий прохід і один або два чистових проходу. Допуски обробки не повинні перевищувати 0,02-0,04 мм на кожную сторону. При обробці порожнини під заготовку форми поміщають загартовану сталеву пластину, щоб запобігти відколам твердого сплаву на вихідній частині інструменту.

Через їх широкі допуски на обробку рекомендується постійно використовувати методи гальванічної ерозії (для чорнової обробки) та ультразвуку (для чистової обробки), особливо коли площа обробки велика. Ультразвуковим методом видаляють сітку мікротріщин, що утворилася після електроімпульсної обробки під дією теплових явищ. У той же час шорсткість поверхні також покращується. Послідовне використання двох нових методів обробки значно знижує трудомісткість виробництва матриці.

При виробництві твердосплавних штампів для невеликих складних деталей рекомендується використовувати ультразвукові методи чорнової та чистової обробки.

Обробку ріжучих інструментів твердосплавними пластинами використовують для отримання різців призматичної форми, створюючи канавки на лицьовій стороні твердосплавної фрези. Зокрема, такі канавки можна отримати електроіскровим методом. Однак обробка ультразвуком покращує якість обробленої поверхні та покращує стабільність різця. Час, необхідний для створення канавки шириною від 0,5 до 2 мм, становить 0,5-2 хвилини. Трудомісткість отримання таких канавок фрезою з використанням

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

мінералокерамічних пластин у 5-10 разів нижча за трудомісткість виконання цієї роботи на твердосплавних пластинах.

Для обробки алмазів широко використовуються ультразвукові методи. Обробка алмазів - серйозна проблема. Як правило, при виробництві алмазних деталей витрачається до 50% сировини. Ультразвукова обробка збільшує використання матеріалу та продуктивність у виробництві алмазних форм у 5-7 разів порівняно з механічною обробкою. Інструмент використовує алмазну голку діаметром 1,35 мм, заточену під необхідним кутом. Для підвищення точності та якості обробки алмазній заготовці надається обертальний рух. Щоб свердлити в алмазі отвір діаметром від 0,1 до 2 мм, потрібно від 1,5 до 4 годин. За допомогою цього методу деталі з синтетичних рубінів і сапфірів також можна просвердлити прецизійними отворами малого діаметра.

Ультразвукове гравіювання дуже ефективно використовується на склі, напівдорогоцінних каменях та інших подібних матеріалах. У порівнянні з традиційним (механічним) гравіюванням, зусилля на обробку зменшено в 10 разів. Під час гравіювання на поверхні оброблюваної деталі миттєво відтворюється весь малюнок, нанесений на кінчику обробного інструменту на глибину 0,5-1,5 мм. Час малювання приблизно від 2 до 5 секунд. Вартість ультразвукового гравіювання невелика, оскільки один інструмент можна використовувати кілька разів.

Для обробки деталей використовуються ультразвукові методи різання з використанням дротяних інструментів. У цьому обладнанні використовуються інструменти зі сталевого або вольфрамового дроту діаметром від 0,05 до 0,3 мм. Цей дротяний інструмент безперервно регенерується шляхом розмотування в зоні обробки.

Надає ультразвукову вібрацію дротяному інструменту. Така обробка дозволяє обробляти керамічні плити та інші крихкі матеріали непрофільними інструментами з високою продуктивністю (до 60-80 мм²/хв для скла) і невеликою шириною різання (0,15-0,25 мм).

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Процеси ультразвукової обробки також використовуються для покращення процесу різання високотемпературних сплавів та інших матеріалів, які важко обробляти. При цьому на інструмент подаються ультразвукові коливання малої амплітуди (рис. 1.5).

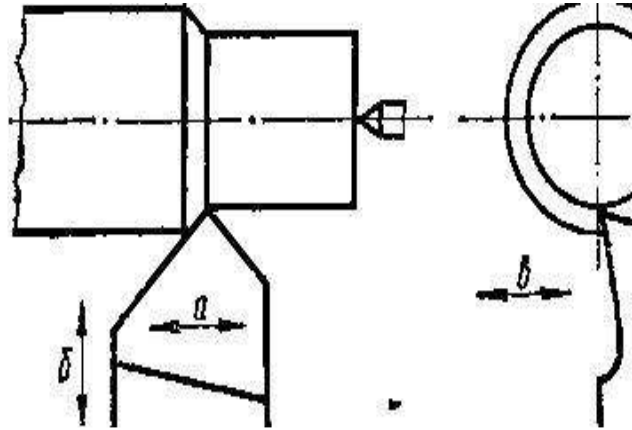


Рисунок 1.5 – Вібраційний рух інструменту під час обробки

Додавання ультразвукових коливань до процесу різання створює додатковий періодичний рух на контактній поверхні інструменту, що значно знижує опір підйому стружки (полегшує процес стружкоутворення), зменшує сили тертя, а також змінює його властивості. Вплив тертя між інструментом і деталлю. Це зменшує сили різання та полегшує процес різання.

В даний час вивчається вплив ультразвуку на різні процеси різання, такі як точіння, свердління, точіння, нарізання різьби та шліфування.

Під час токарних робіт ультразвукові коливання можуть застосовуватися до різального інструменту в трьох напрямках (рисунок 1.5).

а) Паралельно осі обертання деталі, що викликає коливання інструменту в напрямку подачі.

б) Перпендикулярно до осі обертання деталі (радіальна вібрація).

в) Рухатися вертикально, викликаючи тангенціальні коливання.

Дослідження показали, що найбільш ефективним є застосування тангенціальних ультразвукових коливань. Наприклад, встановлено, що

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

ефективність тангенціальних ультразвукових коливань малої амплітуди ($A < 5$ мкм) у процесах різання залежить від властивостей матеріалу, що оброблюється. Тобто, чим більш пластичний матеріал, що обробляється, тим більший ефект. При обробці сякудо тангенціальна складова сили різання P_Z зменшується в 8-10 разів за рахунок генерації тангенціальних коливань ($A = 2,5-3$ мкм) при швидкості подачі 0,08-0,25 мм/об що. Застосування радіальної складової R_u - 50-кратної тангенціальної вібрації до двох класів зменшує висоту мікрорівномірності.

Додавання до інструменту радіальних ультразвукових коливань малої амплітуди ($A = 3...4$ мкм) підвищує стійкість швидкохідного різця в 4 рази в порівнянні зі стійкістю різця, що працює без вібрацій.

Було підтверджено, що при використанні спірального свердла звичайної форми застосування ультразвукової вібрації вздовж осі інструменту не дає хороших результатів. На процеси свердління, зенкерування та розгортання більш ефективно впливають крутильні коливання, які відповідають основному напрямку руху. Отже, піддавання розгортки діаметром 18 мм зі сталі 9ХС крутильним коливанням з амплітудою 5 мкм при свердлінні отворів довжиною 20 мм у зразках зі сталі 20 і 45 дозволяє зменшити шорсткість розгортки. Покращує поверхню обробки та підвищує точність обробки.

Було проведено дослідження для накладання ультразвукових коливань (осьових і крутильних) на ріжучий інструмент під час фрезерування, що значно зменшує силу різання та полегшує процес різання. При цьому глибину пропилу можна збільшити майже вдвічі. Фрезерування з використанням накладеної ультразвукової вібрації забезпечує високу якість обробки навіть на машинах низької жорсткості.

Відомий спосіб шліфування шляхом дії ультразвукових коливань на точильний камінь або заготовку (рисунок 1.6).

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

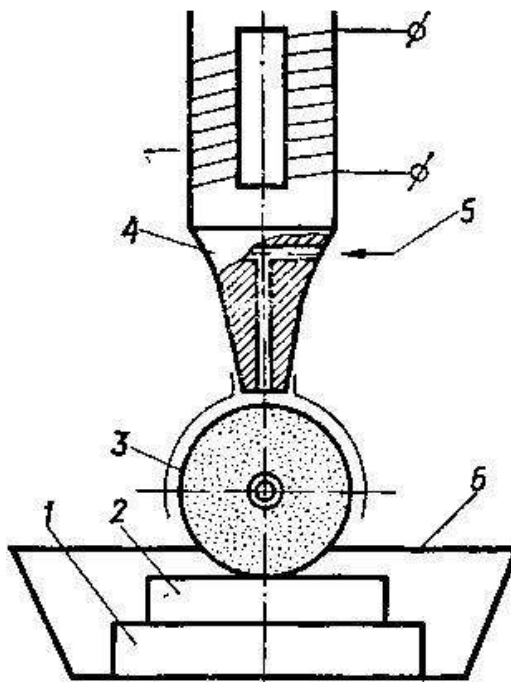


Рисунок 1.6 – Забезпечення процесу вібрації інструменту

Накладаючи ультразвукові коливання, можна збільшити стійкість кола приблизно в три рази. Усунення засолювання круга дозволяє використовувати більш тверді круги з дрібним зерном. Цей метод підходить для тонкого подрібнення в'язких і важко ріжучих матеріалів.

Сьогодні промисловість все частіше використовує ультразвукове нарізання внутрішньої різьби для виготовлення деталей з нержавіючої сталі, жароміцної сталі, титану та інших сталей і сплавів, які важко піддаються обробці. При нарізуванні різьблення одночасно з обертальним рухом навколо осі мітчика і поступальним рухом уздовж осі додатково забезпечуються ультразвукові коливання частотою 18-24 кГц і амплітудою до 20 мкм. В результаті покращуються умови роботи, не відбувається заклинювання та поломки мітчика при зворотному ході, а стійкість інструменту підвищується у 8-10 разів. В якості рідини використовуйте машинне масло або емульсію

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Технічні показники ультразвукової обробки

Вплив техніко-акустичних параметрів на розмірну обробку.

Процес ультразвукового вимірювання залежить від багатьох технічних параметрів, які, як правило, взаємодіють один з одним, таких як твердість і концентрація абразивного матеріалу, частота і амплітуда вібрації інструменту, знос, статичні навантаження і т.д. .

Кожен із цих факторів впливає на продуктивність і якість виробництва.

Матеріал заготовки значною мірою впливає на її властивості руйнування. Усі матеріали поділяються на три групи залежно від характеру їх деформації та руйнування при УЗО. Ця класифікація базується на критеріях уразливості. Це відношення опору зсуву до тимчасової міцності на розтяг.

перша група $t_x > 2$ - Скло, кварц, ситар, кераміка, германій, кремній, ферит. З УЗО практично не відбувається пластична деформація.

Друга група, $1 < t_x < 2$ - Твердий сплав. Загартована, цементована, азотована сталь, титанові, вольфрамові сплави. При УЗО, крім пружної деформації, виникає також мікропластична деформація. Чим більшу роль відіграє пластична деформація, тим гіршими стають умови обробки.

третья група $t_x \leq 1$ - Майже вся робота абразивного зерна витрачається на мікропластичну деформацію поверхневого шару. Матеріальних руйнувань майже немає. Піддати їх УЗО нереально.

абразивна суспензія

Використовуйте абразивне зерно, твердість якого дорівнює твердості матеріалу заготовки.

Зазвичай використовується карбід бору. Карбід бору добре змочується водою і має відносно низьку щільність, тому добре переноситься рідинами.

Карбід кремнію, електрокорунд - використовують у виробництві скляних і германієвих деталей.

Якщо продуктивність обробки скла карбідом бору дорівнює 1, то продуктивність обробки карбідом кремнію становить 0,8-0,85,

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

електрокорунду - 0,7-0,75.

Вода зазвичай використовується як рідина, оскільки вона має низьку в'язкість, хорошу змочуваність і чудові охолоджувальні властивості. У воду додають інгібітори корозії.

Застосування добавок (15% водний розчин мідного купоросу), які хімічно впливають на оброблюваний матеріал, підвищує продуктивність при обробці твердих металів в 1,7—2,5 раза.

Розмір частинок абразиву означає ширину частинок під мікроскопом. Зі зменшенням розміру абразивного зерна знижується продуктивність (особливо, коли розмір абразивного зерна менше амплітуди вібрації). І навпаки, чим менші частинки, тим вища точність виготовлення.

Концентрація абразиву в суспензії

Оптимальна концентрація - один шар абразивних зерен наноситься на всю оброблену поверхню.

Зі збільшенням концентрації (кілька шарів) збільшується частка роботи, яку необхідно виконати для подрібнення самого зерна.

Амплітуда і частота вібрації інструменту визначають поздовжню вібрацію інструменту, а отже, і швидкість головного різального руху.

$$V = \frac{4 \cdot f \cdot A}{10^3}, \text{ РС.}$$

де f – частота коливань (16...30 кГц).

a — Амплітуда вібрації інструменту, мкм.

Чим більше амплітуда вібрації і частота вібрації, тим вище продуктивність (Q_s).

Оптимальна амплітуда вібрації інструменту пов'язана із середнім розміром абразивних зерен в основній частині.

Оптимальна амплітуда коливань обладнання пов'язана із середнім розміром. d_a Основна частина абразивних зерен.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

в $2A/d_a > 1$ відбувається в першу чергу дроблення частинок, а не їх впровадження на оброблену поверхню.

Коли амплітуда вібрації мала, а абразивне зерно велике $2A/d_a < 0,5$, то імпульс сили удару, що діє на частинку, недостатній для її впровадження в оброблюваний матеріал і його руйнування.

Максимальна продуктивність за умов $2A/d_a = 0,6 \dots 0,8$.

Максимально допустима амплітуда вібрації обмежується втомною міцністю інструменту та матеріалів втулки на додаток до вищевказаних міркувань.

Статичне навантаження. В УЗО інструмент притискається до поверхні заготовки з постійним зусиллям. P_{cm} . Ця сила (сила подачі) сильно впливає не тільки на величину ударного імпульсу, але також на стан абразивних зерен і концентрацію абразивних зерен на кінчику інструменту.

оптимальне значення P_{cm} Це залежить від площі та конфігурації інструменту, амплітуди, середнього розміру зерна та властивостей матеріалу, що обробляється.

збільшення P_{cm} Це призводить (в певних межах) до збільшення імпульсу сили удару і глибини впровадження абразивних зерен, що в свою чергу призводить до збільшення продуктивності.

З іншого боку, збільшення P_{cm} Зменшується відстань між інструментом і поверхнею обробки заготовки, що погіршує умови введення в робочу зону нових абразивів і видалення з неї продуктів зношування.

Точність обробки розмірів

Точність ультразвукової розмірної обробки, тобто стабільність контуру виробу і зазору інструменту, визначається багатьма факторами, такими як геометрична точність верстата і його обладнання, розмір абразивних зерен і

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

твердість. Форма заготовки, форма інструменту та величина бічної вібрації.

Мінімальна похибка обмежена невеликими змінами розміру бічних зазорів. Цей розмір зазвичай в 1,5 рази перевищує середній розмір частинок.

d_a Абразивний засіб для основних частин.

В основному зношується наконечник інструменту. Відносний знос у поздовжньому напрямку інструменту (відношення довжини зношеної деталі до глибини обробленої порожнини, %) в основному залежить від фізико-механічних властивостей заготовки та матеріалів інструменту, товщини стінки інструменту, i залежить від товщини інструменту. Розмір частинок абразиву.

Боковий знос виникає в результаті дії абразивних зерен між сторонами інструмента і стінкою обробленого отвору, в результаті чого в інструменті з'являється конусність.

Особливо при використанні кільцевих інструментів з товщиною стінки менше 1 мм збільшується боковий знос. Оптимальна товщина стінок повинна бути в межах 1-1,5 мм.

Погані умови подачі нової абразивної суспензії та видалення продуктів переробки збільшують інтенсивність зношування.

При цьому блок живлення P_{cm} Амплітуда не має істотного впливу на знос.

Щоб зменшити знос інструменту, в першу чергу необхідно вибрати матеріал з достатньою зносостійкістю. Наприклад, при обробці скла інструмент повинен бути виготовлений із твердого сплаву, а при обробці твердого сплаву — із загартованої інструментальної сталі.

Рекомендується використовувати інструмент із зворотним конусом або інструмент «гриб» з калібрувальною стрічкою висотою 1-3 мм. Крім того, діаметр калібрувальної стрічки повинен бути на 0,6-1 мм більшим за діаметр валу інструменту.

Це зменшує сили тертя...і покращує циркуляцію суспензії та краще видалення продуктів обробки.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Бічні коливання інструменту «розбивають» отвір. Також може бути спотворена форма отвору.

Як правило, враховуючи чітку прямолінійність і вирівнювання осей конвертера, концентратора та інструменту, а також точне калібрування інструментів і заготовок, результуюче відхилення круглості отвору під час фінішної обробки не повинно перевищувати 10 мкм. несприятливий випадок - 30 ... 60 мкм)

Розтріскування отвору збільшується, оскільки абразивні зерна стають більшими та глибина обробки збільшується.

Щоб зменшити конусність наскрізного отвору, обробіть обидві сторони по порядку.

Для проколювання, свердління і різання використовують інструменти, що складаються з двох частин: чорнової частини і чистової частини (діаметр чистової частини більше діаметра чорнової частини).

У разі обробки ультразвукових розмірів виробнича помилка може досягати 20 мкм.

якість обробки

Шорсткість поверхні RCD залежить від розміру абразивних зерен, фізико-механічних властивостей заготовки, амплітуди вібрації інструменту, шорсткості поверхні інструменту та типу рідини, що несе абразивні зерна.

Найбільше на шорсткість впливає розмір частинок абразиву. Шорсткість пропорційна розміру частинок.

Властивості оброблюваного матеріалу, тобто його структура (грубозернистість), визначають шорсткість.

Чим більша амплітуда вібрації інструменту, тим шорсткіша поверхня, що обробляється.

Використання машинного масла замість води як рідини, що несуть

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

абразив, зменшує шорсткість поверхні, але при цьому продуктивність знижується в кілька разів, а також погіршуються умови подачі та циркуляції абразиву.

Шорсткість обробленої поверхні також залежить від шорсткості обробленої поверхні інструменту. Нерівності інструменту передаються на поверхню заготовки.

Під час чистових операцій висота мікрорівномірності на робочій поверхні інструменту повинна бути в 2—3 рази меншою за необхідну висоту мікрорівномірності деталі.

Крім шорсткості, якість обробленої поверхні характеризує також її структурний стан. У УЗО з твердого сплаву і загартованої сталі відбувається зміцнення поверхневого шару і виникають стискаючі залишкові напруги.

Використовує порошок тонкого помелу УЗО (№3) і тонкий порошок з шорсткістю поверхні з амплітудою вібрації від 15 до 20 мкм. $R_a = 1,2 \dots 0,4$ мкм, а при доведенні $R_a = 0,2$ мкм.

Продуктивність УЗО

Продуктивність ультразвукової розмірної обробки в основному залежить від амплітуди вібрації інструменту, фізико-механічних властивостей матеріалу, що обробляється, складу і властивостей абразивної суспензії та способу її введення, сили подачі і форми поперечного перерізу залежить. Площа інструменту і глибина обробки.

Характеризується швидкістю знімання заготовки, яка однозначно визначається подачею, якщо площа поперечного перерізу інструмента постійна.

Продуктивність можна розрахувати за такою емпіричною формулою:

$$Q_s = \psi(A_2 \cdot P_{ст}) a \cdot f_v, \text{ мм}^3/\text{хв}$$

де ψ – Фактори, що залежать від оброблюваного матеріалу та

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

властивостей полірувальної суспензії.

i – Амплітуда вібрації обладнання, мкм.

P_{cm} – Сила подачі, Н;

f – частота коливань, Гц;

ic – Індекс частоти за умовами обробки ($a=0,5\dots 1$, $c=0,5\dots 1$).

Чим вище твердість абразиву і розмір частинок, тим краще знімання матеріалу і продуктивність (враховуючи коефіцієнт). Ψ).

Оптимальне зусилля подачі, як правило, підбирається дослідним шляхом і визначається при складанні розмірів. $P_{cm} = 30 \dots 200$ Н.

тиск затиску інструменту $P_{np} = P_{cm} / S$ Середнє $0,1\dots 1$ МПа. Тут S - площа кромки інструменту.

Продуктивність обробки залежить від глибини і площі оброблюваного отвору, що відображається на значеннях показників ступеня a і c .

Поздовжній і бічний знос інструменту впливає на продуктивність (оскільки зменшується амплітуда вібрації).

Зі збільшенням площі обладнання зменшується і амплітуда коливань. Якщо площа стає великою, стан циркуляції абразиву погіршиться. Ви можете збільшити продуктивність багатьма способами.

Поліпшення умов циркуляції абразивної суспензії:

- Регулярно піднімайте та опускайте інструменти.
- подача суспензії через порожнистий концентратор.
- подача підвіски фонтанами знизу.
- застосування інструментів з кільцями і спіральними канавками з боків;
- Використання інструментів із зворотним конусом.
- Перекачування суспензій під тиском ($0,1 \dots 0,5$ МПа).
- відсмоктування підвіски;
- Обертання заготовки або інструменту під час обробки.
- Викликає ексцентриситет обертових осей інструмента та деталі.

Основна операція (поздовжня вібрація інструменту) виконується

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

швидше завдяки використанню високостійких до втоми матеріалів.

Для підвищення стійкості до втоми проводять дробеструйну обробку, гідрополірування та ультразвукову обробку.

Ультразвукова обробка алмазним інструментом зараз широко використовується.

1.2 Обґрунтування теми та постановка питання дослідження

На сучасному етапі розвитку техніки все більшої актуальності набуває завдання створення виробів машинобудування з якісно новими властивостями. Це досягається шляхом забезпечення специфічних властивостей поверхні деталі та сприятливих фізико-механічних властивостей її матеріалу. До поверхонь і шарів виробів прикладають контактні навантаження, які в значній мірі визначають робочі характеристики механічних частин, такі як зносостійкість, корозійна стійкість, контактна довговічність. [1-4]. У той же час серцевина компонента повинна забезпечувати міцність конструкції всього виробу.

У зв'язку з цим при проектуванні та виготовленні виробів слід звертати увагу на формування хороших фізико-механічних властивостей матеріалу та геометричного стану поверхні. Існують різні способи модифікації поверхневого шару для досягнення поставленої мети в сучасних технологічних процесах. До них відносяться хімічні та хіміотермічні, термічні, механічні методи та нанесення різних видів покриттів.

Аналіз методів модифікації поверхневого шару [4-8] показав перспективність застосування методу поверхневої пластичної деформації (ППД) у технологічному процесі отримання механічних деталей. Перевагами цих методів є контрольованість процесу, формування залишкових напружень стиску в поверхневому шарі, відносно низька вартість обробки, низька витрата енергоресурсів. Завдяки відсутності шкідливих елементів при обробці можна говорити про екологічність процесу РРО. Пластичне деформування поверхні

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

особливо актуальне для деталей з кольорових металів і сплавів, а також аустенітних нержавіючих сталей, де термореактивна реактивність неможлива.

Серед інших методів ППО особливе місце займає ультразвукова поверхнева пластична деформація (УПО). Завдяки малим статичним силам УРО дозволяє обробляти нежорсткі тонкостінні деталі та деталі з крихких матеріалів. Використовуючи різні режими обробки, параметри поверхневого шару, такі як рельєф поверхні, напружено-деформований стан і твердість поверхні, можна значно змінювати. Всі ці параметри мають істотний вплив на експлуатаційні властивості поверхні, але серед них необхідно звернути увагу на геометричні умови. Вивченню його впливу на більшість експлуатаційних характеристик присвячено багато досліджень [4-25].

Формуванням мікрогеометрії поверхні при ультразвуковій пластичній деформації займалися І. І. Муханов, Г. А. Ісхакова, Г. М. Рахім'янов, В. Б. Асанов, В. П. Гілета. Завдяки цим дослідженням була отримана модель формування мікрорельєфу, яка пояснювала умови формування специфічної форми його фрагментів і формування правильних мікрорельєфів. Однак ці дослідження розглядають проекцію реального відбитка з об'ємом на суміжну площину і не дозволяють оцінити розвиток отриманого рельєфу, його нафтоємність та інші властивості. Тому існуючі моделі потребують деякого вдосконалення.

Тому метою даного дослідження є технічне забезпечення геометричних параметрів якості поверхні деталей методом ультразвукової пластичної деформації.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виявлено механізм утворення хвилястості при ультразвуковій пластичній деформації матеріалів різної твердості.
2. Оцінити геометричні параметри для розробки математичної моделі утворення хвилястості.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

3. Експериментально підтверджено теоретичні дослідження щодо формування поверхневої хвилястості після ультразвукової пластичної деформації.

4. Встановлено залежність сумарного об'єму фрагментів мікронерівностей від режимних параметрів обробки для оцінки тривимірних властивостей рельєфу поверхні.

5. Розробляємо прилади та технічні рекомендації для використання ультразвукової пластичної деформації для обробки різних класів деталей.

6. Затвердити результати дослідження.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2.Огляд літературних відомостей та патентно-інформаційних матеріалів щодо способів обробки та характеристик механічних деталей поверхневим пластичним деформуванням

2.1 Спосіб обробки поверхневою пластичною деформацією

Через суворі вимоги до робочих характеристик деталей машин, наприклад, при чистовій обробці, поверхнева пластична деформація все частіше використовується як метод обробки заготовок без видалення стружки. Поверхнєве пластичне деформування (ППД) - обробка тиском, при якій пластично деформується тільки поверхневий шар деталі (терміни та визначення - згідно з ГОСТ 18296-72 «Обробка поверхневим пластичним деформуванням»).

Обробка РРО заснована на здатності поверхні металу сприймати залишкову пластичну деформацію без порушення цілісності металу.

Метою обробки РРО є зміна розміру заготовки до прийнятного розміру (діаметр РРО) і формування певної макро- та/або мікрогеометрії на поверхні (обробка поверхневої пластики). Зменшення шорсткості поверхні (згладжування), деформаційне зміцнення.

У ППО змінюється структура матеріалу поверхні, створюючи стискаючі залишкові напруги (зміцнення ППО). Під час обробки ППО змінюється форма частинок (кристалітів) на поверхневому шарі металеві заготовки. Вони розтягуються в напрямку деформації і утворюється волокниста правильна структура. Деталі, оброблені РРО, менш схильні до втомного руйнування. З ППО можна обробляти деталі практично будь-яких розмірів зі сталі, чавуну, кольорових сплавів та інших пластично деформованих матеріалів.

Усі відомі способи протиповітряної оборони можна розділити на дві основні групи: статичну ППО та ударну. Характеристика статичного методу полягає в тому, що на оброблену поверхню діє постійна сила P , а центр деформації, викликані дією сили, безперервно переміщується вздовж

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

обробленої поверхні. Сили інерції не впливають на процес деформації. До статичних прийомів належать згладжування (рис. 2.1, а), прокатка (рис. 2.1, б), одноразове деформування обробленої поверхні без переміщення центру деформації (рис. 2.1, в). До статичних методів відносяться також методи електромеханічної обробки і формування піни.

Метод удару (рис. 2.1, г) характеризується повторними циклічними ударами інструмента або заготовки об оброблену поверхню. При цьому вплив P змінюється від мінімуму до максимуму протягом кожного циклу.

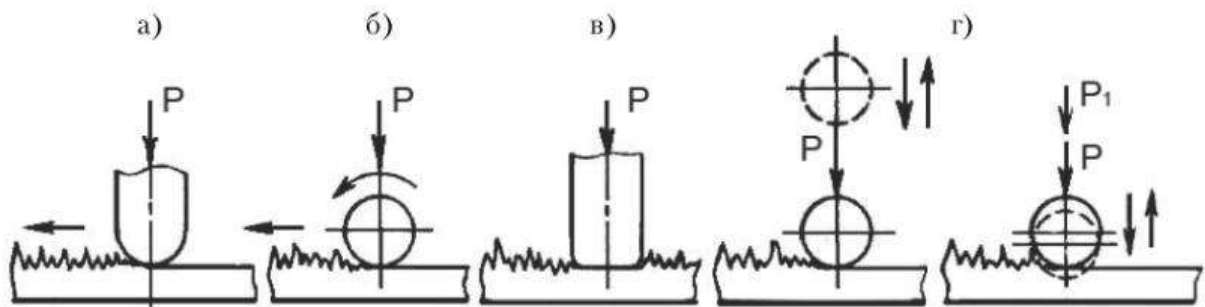


Рисунок 2.1 – Основні групи методів поверхневого пластичного деформування:

а, б, в - статичні (відповідно згладжування, скочування, одноразова деформація). д - удар (повторний удар інструментами або заготовками); D - Напрямок руху інструменту або заготовки. P - ударна сила зенітного вогню

При застосуванні локального впливу для обробки всієї поверхні заготовки необхідно забезпечити рівномірне переміщення вогнища деформації вздовж заготовки.

До деформуючих тіл (інструментів) ППО відносяться кулі і ролики з віссю обертання або без неї, верстати для вирівнювання, волочильні машини з деформаційними елементами (оправками), спеціальні пуансони і молотки, а також стандартні дробини тощо б/в. Деформоване тіло взаємодіє з обробленою поверхнею за схемою кочення, ковзання або впровадження. В якості робочих

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

тіл при деформації поверхні використовуються рідини, гази або їх суспензії, що містять абразивні частинки.

Обкатка і викочування.

Відповідно до ГОСТ 18296-72 поверхнева пластична деформація при коченні інструмента по поверхні матеріалу, що деформується, називається коченням. Прокатку поділяють на прокатку (рис. 2.2, а) і прокатку (рис. 2.2, б) залежно від того, яка поверхня обробляється: опукла (вал, галтя), плоска чи увігнута (отвор тощо). ділиться на

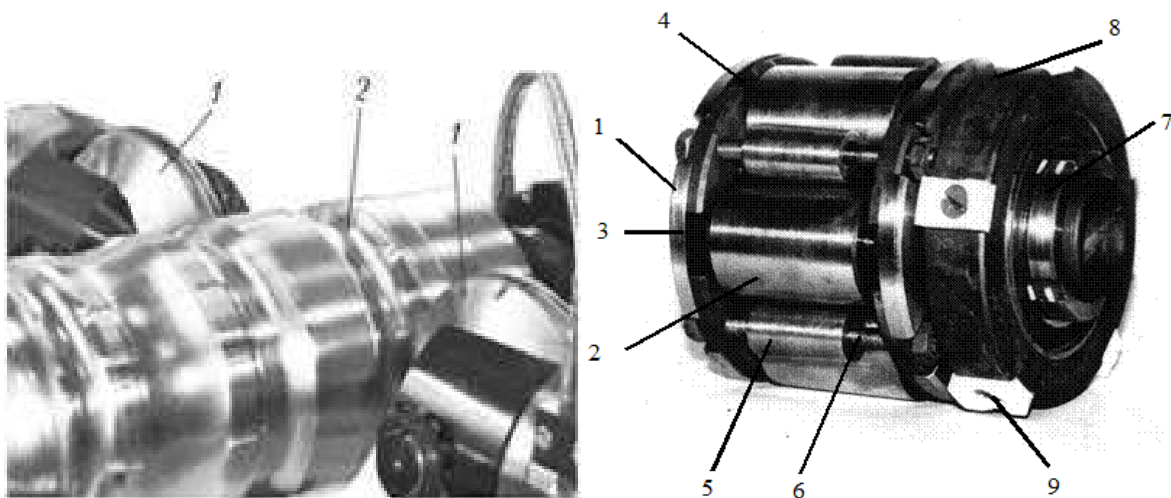


Рисунок 2.2 – Поверхня вирівнювання (а) і поверхня кочення (б)

Сутність процесів і схеми очищення.

Розкочування здійснюється за допомогою роликів і кульок. Ролики виготовлені зі сталі: легованої (ШХ15, ХВГ, 9Х, 5ХНМ), вуглецевої інструментальної сталі (У10А, У12А), швидкорізальної сталі (Р6М5, Р9), твердого сплаву ВК8. Робоча поверхня сталевих роликів має твердість від 60 до 65 НРС.

Плоскі, циліндричні, перехідні поверхні, формуючі поверхні, канавки обробляють поєднанням обертальних і поступальних рухів деталей і деформованих елементів методами прокатки і прокатки.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

В якості мастила при обкатці і коченні використовується сульфозфрезол (5% емульсія) — суміш машинного масла і гасу. Рекомендується обробляти чавун без охолодження.

Зміна розмірів поверхні при прокатці і прокатці пов'язана зі зняттям мікрорівномірності деталі і пластичними об'ємними деформаціями. Отже, точність оброблюваної деталі визначається її конструкцією, конструкцією інструменту, режимом обробки і навіть точністю розмірів, форми та якості поверхні деталі, отриманих при обробці попередніх етапів.

Початкові поверхні якості 7-11 найкраще обробляти інструментами жорсткого копіювального типу, а поверхні якості 5-7 – ударними.

При обробці твердих деталей копіювальним інструментом розміри змінюються внаслідок зниження тонкої однорідності поверхні. Величина зміни розміру залежить від початкових умов поверхні (табл. 2.1).

При цьому точність розмірів залишається незмінною. Оскільки процеси обробки з використанням твердих інструментів характеризуються низьким натягом, розміри також змінюються незначно. При прокатці тонкостінних деталей точність розмірів підвищується на 10-20%, а відхилення форми становить 10-30 мкм.

Фактично досягаються параметри шорсткості обробленої поверхні Ra 0,2...0,8 мкм при початкових значеннях цих параметрів 0,8...6,3 мкм. Ступінь зменшення шорсткості поверхні залежить від матеріалу, сили обробки або натягу, подачі, початкової шорсткості, конструкції інструменту тощо.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.1

Розміри поверхні виробу при прокатці і прокатці змінюються в залежності від шорсткості вихідної поверхні.

Метод попередньої обробки	Шорсткість Ra, мкм	Зміна розміру після обробки, мм
точіння	6.3	0,03 ~0,06
	3.2	0,02 ~0,04
	1.6	0,01 ~0,02
Точіння широким різцем	3.2	0,01 ~0,02
	1.6	до 0,01
шліфування	3.2	0,01 ~0,03
	1.6	0,005 ~0,015

Калібрування отворів.

Сутність процесів і схеми очищення.

Калібрування (деформаційне креслення, оправлення) — чистова операція, під час якої шляхом пластичної деформації виробляють отвори в механічних деталях. Ця операція здійснюється шляхом переміщення деформаційного інструменту (оправки з деформуючим елементом, див. рисунок 2.3, або кулі) під напругою.



Рисунок 2.3 – Калібрування отвору за допомогою оправки

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Деформаційні елементи часто виконують симетрично, тому є можливість працювати з прямою і зворотною подачею і повертати елементи під час зношування.

Матеріал деформаційного елемента - твердий сплав ВК15, ВК15М.

При механічній обробці обов'язкове використання засобів мастильно-охолоджувальної техніки (МОТЗ).

Для деталей з високолегованих жаростійких і корозійностійких сталей і сплавів застосовують МОТЦ: АСМ-1, АСМ-4, АСМ-5, АСМ-6. Мастило АСФ-3 використовується при обробці деталей із загартованої сталі.

Для деталей масового виробництва обробка виконується за допомогою волоочильної машини.

Швидкість обробки встановлюється в діапазоні від 2 до 25 м/хв з урахуванням потужності машини. Механічна обробка здійснюється за допомогою звичайної оправки з декількома деформуючими елементами.

Товщина текстурного шару з підвищеною твердістю більша, і чим більше і тонше товщина стінки, натяг і кількість елементів деформації обробки, тим вище вихідна твердість оброблюваного матеріалу. Збільшення твердості коливається від 130 до 260% залежно від обробленого матеріалу.

Перший вид залишкової напруги на поверхні отвору може бути як негативним (стиск), так і позитивним (розтягуванням).

Якість обробки деформаційним інструментом залежить не тільки від режиму обробки, але й (в основному) від точності розміру отвору, стану поверхні та механічних властивостей матеріалу деталі.

Для підвищення точності рекомендується проводити попередню термообробку для стабілізації механічних властивостей матеріалу.

Для досягнення точності якості від 11 до 13 всі деформовані елементи і невелика кількість елементів на інструменті повинні бути оброблені з великими однаковими натягами. Відносна деформація кожного елемента може досягати 2-4%. Для досягнення якісної точності від 8 до 11 при обробці отворів

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

у жорстких деталях з постійною жорсткістю по довжині необхідно застосовувати однаковий, помірний натяг (0,5-1,0 мм). Для досягнення точності, еквівалентної квалітету 8-9, деталі з гарячекатаних трубних заготовок необхідно попередньо обробити різанням.

При обробці отворів для отримання точності якості від 8 до 11 в деталях з різною товщиною стінок слід використовувати інструмент із зменшенням натягу від першого елемента деформації до останнього елемента деформації (натяг останнього елемента 0,02-0,1 мм). Для цієї групи деталей (кромки, припливні) з швидкою зміною бічної жорсткості підходить схема деформація-різання-мікродеформація. Для отримання точності 5-6 балів попередньо необхідна точна різання, а потім проводиться деформація із загальною деформацією 0,5-1,0% при невеликому натягу.

Якість обробленої поверхні отворів.

Шорсткість поверхні залежить від початкової шорсткості і матеріалу деталі, що обробляється, товщини стінки, режиму обробки, який використовується в ЗОТЗ, і кута робочого конуса інструмента. Шорсткість обробленої поверхні майже не залежить від швидкості обробки (в межах діапазону швидкостей).

Для отримання малих значень шорсткості рекомендується готувати отвір твердосплавним інструментом (фреза, зенкер, розгортка) зі швидкістю різання, що виключає утворення наростів. При обробці отвору в товстостінній деталі після розточування або розширення (початковий параметр Ra 6,3...1,6) виходить поверхня з Ra 0,8...0,1, якщо матеріалом деталі є сталь. Ra 0,4-0,1 - для обробки бронзових деталей, Ra 1,6-0,4 - для обробки чавунних деталей.

Шорсткість поверхні тонкостінних деталей у 2—4 рази більша, ніж товстостінних.

Алмазне згладжування.

Сутність процесу та схема обробки.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

(алмаз, прикріплений до тримача) притискається до обробленої поверхні з постійним зусиллям (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Алмазний інструмент для згладжування

Процес згладжування поверхні інструменту створює великі контактні напруги в точках контакту між елементами деформації та заготовкою. Постійне зусилля згладжування викликає пластичну деформацію поверхневого шару, що призводить до згладжування тонкої однорідності та зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Може зачищати зовнішні та внутрішні поверхні обертових машин (циліндричної, сферичної та ін. форми), а також торці токарних, карусельних, свердлильних, розточувальних верстатів тощо.

Гладжущий інструмент складається з алмазного наконечника і тримача. Під час роботи на токарному верстаті тримач кріпиться до супорта або до пінолі в задній бабці. Навантажувальний механізм тримача оснащений пружним елементом (пружиною), який забезпечує безперервний контакт алмазу з обробленою поверхнею і приблизно однакову силу згладжування.

Алмазним вигладжуванням обробляють сталь, кольорові метали та інші сплави. Через крихкість алмазів несучільні поверхні не слід згладжувати. Через нестабільну якість вигладжуванням не обробляються деталі з великими відхиленнями форми поперечного перерізу або неоднорідною твердістю

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

поверхні (значення твердості повинні бути в межах від 4 до 5 одиниць HRC і менше).

Підготовка поверхні може бути виконана шляхом шліфування, точного точіння або розточування.

Алмазне згладжування виконується за допомогою копіювального інструменту. Тому відхилення форми поздовжнього і поперечного перерізів змінюються незначно, а розмір деталі змінюється (у міру згладжування вихідної мікрорівномірності) на 11-15 мкм. У цьому випадку точність обробки може трохи знизитися. У зв'язку з цим при попередньому переході доцільно забезпечити точність розмірів на 20-30% вище заданої точності кінцевої обробленої деталі.

Якість готової поверхні сильно залежить від режиму вирівнювання (зусилля і подача). Кількість проходів і швидкість згладжування певним чином впливають на шорсткість і мікротвердість обробленої поверхні.

При правильному виборі режиму згладжування мікрорівномірність поверхні може бути знижена в кілька разів (до Ra 0,1...0,5), а мікротвердість підвищується на 5-60% (до глибини шару заклепки) 400 мкм. .

На заглаженій поверхні виникають значні залишкові напруги стиску. Наприклад, максимальні значення залишкових напружень для зразків сталі 45 після нормалізації складають 200–350 МПа, а після загартування – 700–1000 МПа.

Деталі, поверхнево оброблені алмазним вирівнюванням, мають відмінні експлуатаційні якості: високу зносостійкість і втомну міцність.

Вібраційне кільце. Вібропрокатка (ВН) — це процес механічної обробки (за допомогою кульок, алмазних інденторів) плоских, циліндричних, сферичних і криволінійних поверхонь деталей за наявності додаткового вібраційного руху (рисунок 2.5). Таке переміщення деформуючого тіла дає можливість утворити абсолютно нову систему регулярних мікронерівностей і регулярну хвилястість на обробленій поверхні деталі (на додаток до звичайної

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

пластичної деформації і згладжування початкової шорсткості). Деякі з основних видів мікрошорсткості, отримані при прокатці, наведені на малюнку 2.6.



Рисунок 2.5 – Вібротокер з алмазним індентором

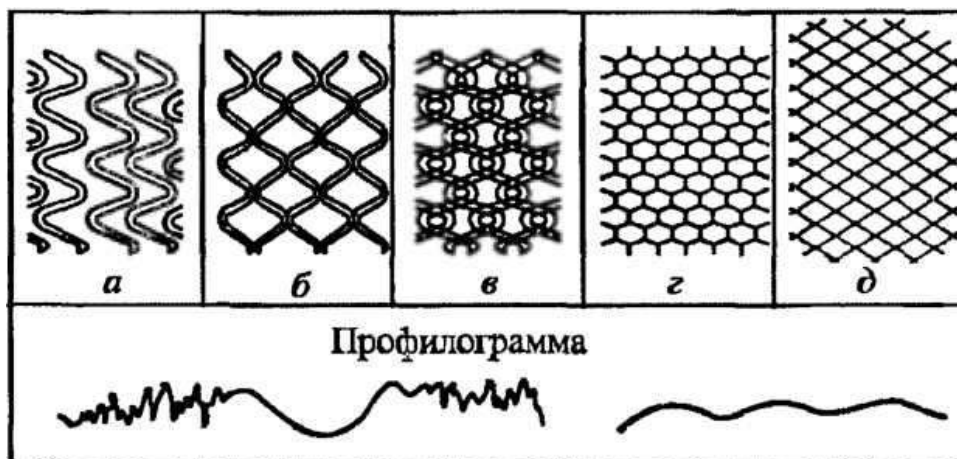


Рисунок 2.6 – Приклад дрібних нерівностей, отриманих під час вібраційної прокатки

Вібраційну прокатку з використанням спеціального обладнання здійснюють на токарних верстатах для обробки предметів, що обертаються, і на фрезерно-стругальних верстатах для обробки плоских поверхонь. Додатково HV може виконуватися на верстатах, оснащених ЧПК.

ВН з утворенням системи канавок суттєво не впливає на точність обробки. Зміна розміру в цьому випадку обумовлена тільки напливом, що утворюється на краях канавки, і становить кілька мікрометрів. Інші параметри, що характеризують форму деталі, залишаються незмінними.

Залежно від кінематики процесу, вібропрокат може вирішити наступні технічні завдання:

а) Збільшення відносної довжини опорних ліній профілів шорсткості поверхні та твердості.

б) Формування канавок на робочих поверхнях деталей системи, поліпшення процесу змащування і обробки поверхонь тертя і зниження зносу поверхонь тертя.

в) Формування регулярних нерівностей різної форми на поверхні деталі в залежності від необхідних експлуатаційних характеристик і характеристик.

г) Відновлення точності розмірів деталі в певних межах шляхом перерозподілу матеріалу в поверхневому шарі.

д) Створить спіральну мікрощілину на з'єднаній циліндричній поверхні.

д) Декоративна обробка поверхонь деталей замість трудомістких процесів полірування.

обробка кадру.

Обробка дробу (ОД) здійснюється шляхом зіткнення дробу з деформованим матеріалом. Застосовується для зміцнення деталей і інструментів складної форми і деталей з низькою жорсткістю, таких як зуби шестерень, листові ресори, пружини кручення, лопатки компресора і турбіни, зварні шви, пресове обладнання.

Дробеструминна обробка поділяється на дробеструйну і дробеструйну (рисунок 2.7).

До основних технічних параметрів при виборі режиму обробки пострілу відносяться діаметр пострілу, швидкість пострілу, час обробки і кут атаки. Ці

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

параметри залежать від ступеня пластичної деформації поверхні, глибини облицьованого шару, величини залишкових напружень і шорсткості поверхні.



Рисунок 2.7 – Дробеструминне обладнання

Вибір пропорцій залежить від матеріалу деталі, розмірів і конфігурації, вимог до армування тощо. Використовуються сталеві або чавунні деталі (діаметром 0,2-3,6 мм), опорні кульки (1-10 мм), сталеві мікрокульки (0,005-0,3 мм), включаючи HSS, скляні кульки (0,25 мм) ... 1,2 мм).

Лікування ударним імпульсом.

Ударно-імпульсна обробка (УІМ) - це ППО при зворотно-поступальному русі інструмента перпендикулярно оброблюваній поверхні, що здійснюється за законом заданої частоти ударних імпульсів і розташування частин вдавнення інструменту на поверхні. УДО можна розділити на карбування та ультразвукову обробку відповідно до частоти та інтенсивності ударного імпульсу (рис. 2.8).

Надрізання використовується для зміцнення ефективних ділянок великих механічних деталей, де зосереджена напруга, наприклад, галтелі вала, корені великих шестерень, канавки, кути фанерних канавок і днища пазів, а також зварні шви.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



Рисунок 2.7 – Обробка механічних деталей

Для лиття застосовують пристрої з механічним або пневматичним приводом, приєднані до універсальних токарних, фрезерних або спеціальних верстатів.

Товщина армуючого шару після карбування досягає 15-30 мм, що дозволяє збільшити твердість поверхні заготовки більш ніж на 30%. У поверхневому шарі утворюються залишкові напруги стиску до 1000 МПа і більше.

Шорсткість поверхні після карбування Rz 40 до 160. При товстому шарі армування допускається шліфування (в м'якому режимі) верхнього шару до товщини 0,5 мм для зменшення шорсткості. Зберігає зміцнювальний ефект.

Загартування карбуванням ефективно для галтелів малого радіуса. У цьому випадку м'ята буде проводитися без підгодівлі.

Ультразвукова обробка (УЗО) — один із методів ППО, при якому ультразвукові коливання, створювані генератором, поряд із тиском статичного тиску на поверхню подаються на інструменти (кульки, ролики, алмази тощо), встановлені в концентраторі.) буде передано.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Рисунок 2.8 – Ультразвукова обробка деталей

Використання PZV є ефективним для покращення якості обробки сталевих деталей, таких як термічно оброблені твердосплавні інструменти та деталі з низькою жорсткістю. Завдяки вібрації інструменту в напрямку, перпендикулярному армованій поверхні, на поверхні деталі утворюються жирні мікронерівності, що сприяє підвищенню зносостійкості.

УЗО працює на машинах загального або спеціалізованого призначення. Для збудження ультразвукових коливань використовують магнітострикційні перетворювачі або п'єзокерамічні перетворювачі.

вібраційна терапія.

Вібродарна обробка (ВіУО) — це спосіб (рисунок 2.9), при якому частинки оброблюваного середовища (загартовані сталеві кульки, валики, абразивні середовища тощо) стикаються з поверхнею заготовки. Поміщений у вібраційну робочу камеру.

Обробка передбачає постійну циркуляцію або періодичну подачу технічних рідин. ВіУО поділяється на процес очищення, який усуває дрібні нерівності та задирки, і процес зміцнення.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



Рисунок 2.9 – Частина обладнання для обробки вібраційного удару

Залежно від призначення ВіУО використовуються абразивні матеріали, метали, полімери, дерево, скло та ін. Середовище обробки.

Для ППО використовується середовище у вигляді полірованої кулі діаметром 1 ... 16 мм із загартованої сталі ШХ15. Використовуються високоякісні скляні кульки, які дозволяють надзвичайно тонку обробку.

Властивості технологічної рідини впливають на перебіг процесу ВіО. Основними технологічними рідинами є водні розчини лугів, кислот і нейтральних солей, до яких залежно від характеру виконуваної операції додають різні хімічні добавки.

Покращена вібраційна обробка підвищує зносостійкість і стійкість до втоми на 15-70% і довговічність в 3-10 разів, залежно від умов використання деталей, способу і техніки затвердіння, матеріалу, початкового стану поверхні і попередньої термічної обробки. , контактна жорсткість, корозійна стійкість та інші властивості.

Поєднання процесу РРО під час вібраційної обробки та нанесення дисульфиду молібдену або графіту на поверхню втулок, таких як гідроциліндри, шестерні, рейки, вкладиші сферичних підшипників тощо. Це може зменшити коефіцієнт тертя та підвищити зносостійкість деталей.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Відцентрова обробка характеризується ударною взаємодією роликів з поверхнею обробки під дією відцентрової сили (рис. 2.10).



Рисунок 2.11 – Установа для центрифугування

Ударне кочення характеризується ударною взаємодією роликів з обробленою поверхнею при проходженні через підняті опорні елементи (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Ударне кочення з роликами

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

При обробці механічною щіткою удар від дротяного вістря механічної щітки, що обертається, передається на поверхню заготовки (рис. 2.13).

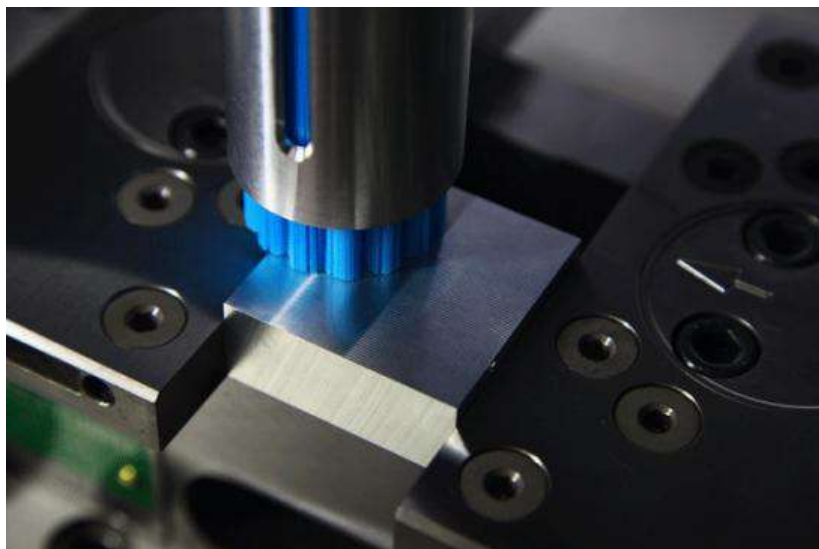


Рисунок 2.13 – Обробка поверхні металевими щітками

Електромеханічна обробка.

Метою електромеханічної обробки (ЕМО) є перш за все суттєве підвищення твердості деталей і зменшення шорсткості оброблюваних поверхонь.

На діаграмі. 2.14 наведена схема для електромеханічної обробки.

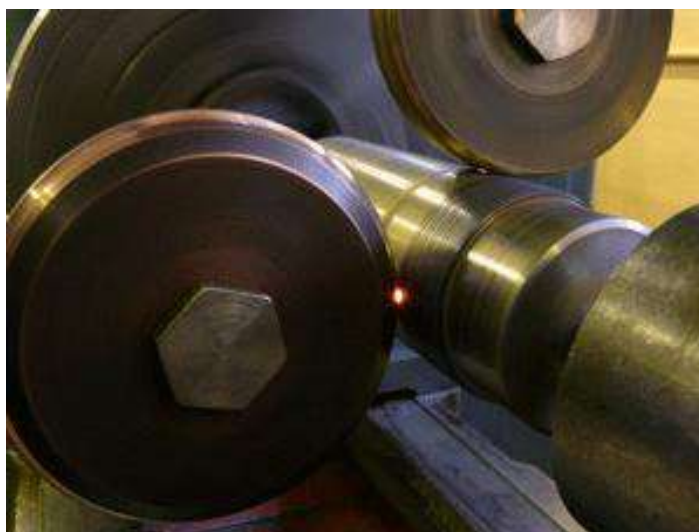


Рисунок 2.14 – Електрообробка механічних деталей

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Важливо вибрати матеріал інструменту. Це найважливіший елемент обладнання технології ЕМО, який працює в суворих умовах, таких як високі температури та силові навантаження. При цьому необхідна висока електропровідність матеріалу і достатня зносостійкість контактних поверхонь. З цієї точки зору в якості інструментального матеріалу найбільш доцільно використовувати твердий сплав, основним матеріалом якого є жароміцна бронза, або сплав, основним компонентом якого є мідь.

Ось кілька загальних моделей розвитку при виборі режиму ЕМО: Чим більше питома енергонасиченість поверхневого шару до моменту охолодження, тим більше підвищення глибини. Збільшуючи швидкість обробки, можна зменшити глибину загартування. Однак для досить тонких поверхневих шарів збільшення швидкості обробки в поєднанні з виділенням тепла тертя може бути домінуючим фактором, який також може бути викликаний збільшенням контактного тиску при низьких значеннях сили струму. При нагріванні можливе аустенітне перетворення (для сплавів Fe з поліморфним перетворенням). Під впливом високого тиску структура зерна настільки подрібнюється, що перетворення можуть відбуватися навіть при високих швидкостях нагрівання. З металургійної точки зору ЕМО — це термомеханічний процес, при якому нагрівання відбувається за рахунок явищ електричного контакту в області біля поверхонь двох провідників, які контактують під час проходження через них електричного струму. Вибір оптимального режиму ЕМО залежить від необхідного ступеня і глибини зміцнення, заданої шорсткості поверхні, характеру контактного нагріву, початкової шорсткості, геометрії інструменту, структури матеріалу заготовки, що обробляється, і способу обробки. електромеханічне загартування варіюється в залежності від ін.

Залежно від ступеня впливу на структуру і властивості поверхневого шару режими електромеханічної обробки сталевих виробів бувають різними.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

1. Режим жорсткого загартування зазвичай використовується при обробці змінним струмом. При цьому в поверхневому шарі на значній глибині формується світла зона дрібнодисперсного мартенситу, а в перехідному шарі відсутня значна пластична деформація. Цей режим має високу щільність струму під час контакту інструмента з компонентом (700-1500 А/мм²), низьку швидкість обробки (0,5-5 м/хв) і низькі вимоги до шорсткості поверхні.

2. Режим середнього армування можна виконувати як на змінному, так і на постійному струмі. Характеризується малою глибиною зміцнення, наявністю світлих і темних зон феритно-мартенситної структури в поверхневому шарі, вираженою деформацією перехідного шару. Щільність струму в контактах менше 800 А/мм². Також його величина впливає на наявність або відсутність фазового перетворення. Швидкість обробки подібна до тієї, що використовується в режимі жорсткого затвердіння, або трохи вище. Високий тиск негативно впливає на зміцнюючу дію ЕМО. Величина тиску інструмента на оброблену поверхню вибирається на основі вимог до глибини та шорсткості поверхневого шару.

3. Як правило, режим обробки використовується при обробці постійним струмом. Характеризується відсутністю фазового перетворення, низькою щільністю струму при контакті, високою швидкістю обробки (10-120 м/хв) і високим тиском інструменту. Режим фінішної обробки використовують, коли не потрібна значна глибина корпусу, але початкова шорсткість обробленої поверхні повинна бути значно зменшена. При цьому досягається висока продуктивність.

Для покращення експлуатаційних характеристик рекомендується використовувати електромеханічну обробку широкого діапазону компонентів, що працюють у різних умовах тертя та зношування.

Ефективно застосовувати ЕМО до деталей, які працюють в умовах фретинг-корозії, де відбуваються відносно невеликі рухи через вібрацію або

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

ударні навантаження, наприклад комбінації «вал-підшипник кочення» та «корпус-підшипник кочення». Робота машини.

ЕМО ефективний для використання в деталях транспорту, сільськогосподарського, дорожнього, будівельного машинобудування та ін., які піддаються високим навантаженням в процесі експлуатації, особливо в умовах зносу. Приклад продукту: горловина ресорної підвіски локомотива. Велика шия валу. Куликовий підшипник; Чашка диференціала на задню вісь автомобіля. КПП в зборі, головка циліндра двигуна. Циліндри насосів, гідравлічні та пневматичні механізми. Торець поршневого кільця, диск гальмівного пристрою.

Методи електромеханічної обробки також застосовуються для зміцнення: Різьбові поверхні (машинні різьби, сферичні черв'яки для рульового керування автомобілями, циліндричні та конічні різьбові з'єднання з метричною та трубною різьбою). Зуби шестерні (циліндричні, конічні, черв'ячні). Інструменти (свердла, фрези, розгортки, зенкери, пуансони, плашки, довжини, черв'ячні фрези, рубанки - передня і задня різальні поверхні). Поверхня деталі, утворена металізацією, напиленням, покриттям або обробкою поверхні. Зміцнення плоскої поверхні ЕМО фрез дуже важливо для таких деталей, як напрямні станини, ножі ріжучого обладнання сільськогосподарської техніки, лапи культиваторів, штанги різних інструментів, ножі кормоподрібнювачів.

Спосіб формування піни.

Формування фасонної поверхні в холодному стані здійснюється методом прокатки. Контур прокату формується шляхом вдавлювання інструменту в матеріал заготовки, що полягає в видавлюванні частини матеріалу в виїмку інструмента. Основними перевагами вальцевого методу є висока продуктивність, низькі витрати на обробку та висока якість деталей. Торифіковані деталі мають підвищену механічну міцність, втомну міцність і зносостійкість. Це можна пояснити, зокрема, тим, що при формуванні

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

прокаткою волокна вихідної заготовки не розрізаються, як при різанні, а «повторюється» профіль поверхні деталі.

Формування виконує чорнову, чистову і чистову функції і використовується для отримання валів різьбових, валів з дрібними шліцами, малих модульних коліс із зубцями.

Поширеним методом є використання матриці для формування нитки. Між нерухомою матрицею 1 і рухомою матрицею 3 розміщена заготовка 2, на поверхні обробки якої є канавка, контур і положення якої відповідає контуру і кроку різьби. Під час руху рухомої форми заготовки вона котиться між інструментами, утворюючи на її поверхні нитки. У цьому випадку накочування різьблення зазвичай виконується до термічної обробки, але точне накочування різьби виконується після термічної обробки.

2.2 Вплив обробки механічних деталей поверхневою пластичною деформацією на якість і властивості шару армування

ППО виконується за допомогою різноманітних деформуючих інструментів (валиків, кульок, гладильників, бойків тощо), твердість яких перевищує твердість заготовки, що обробляється (зазвичай НРС 65). У зоні контакту між інструментом і заготовкою створюється високий тиск, під дією якого мікроскопічні нерівності на оброблюваній поверхні пластично деформуються і повністю або частково руйнуються. В результаті утворюються нові мікронерівності та швидко зменшується шорсткість поверхні в оптимальному діапазоні режиму ПРО. Шорсткість обробленої поверхні в залежності від різних факторів (метод ППО, режим, матеріал обробки та ін.) зменшується від вихідного $Rz = 5-12$ мкм до $Ra = 0,04-0,1$ мкм. На діаграмі 2.15 наведено профілі мікрорівномірності, що утворюються під час різних видів обробки (збільшення: вертикальне $\times 1000$, горизонтальне $\times 25$). а)

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Точіння ($S = 0,13$ мм / об). б) Шліфування ($S=0,06$ мм/обертання). с) Кочення ($S=0,5$ мм/обертання). d) Вібраційне кочення ($S = 0,2$ мм/об).

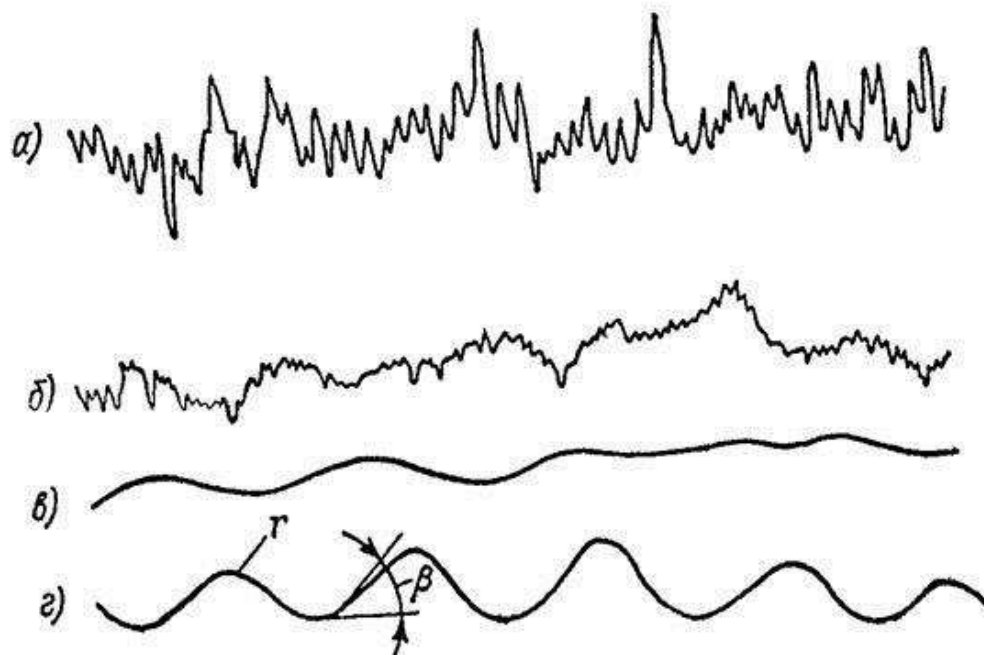


Рисунок 2.15 – Профіль мікрорівномірності обробленої поверхні:
а - обертати. б - шліфування - прокатка;

ППО металів проводиться в холодних умовах і передбачає зміцнення поверхневого шару намазуванням. При цьому істотно зростають показники опору металів деформації, такі як твердість, межа текучості, міцність, і дещо знижуються показники пластичності, такі як відносне залишкове видовження і звуження. Відповідно до сучасних наукових уявлень, основною причиною зміцнення є лавиноподібний розвиток дислокацій у пластично деформованих шарах. Останній накопичується поблизу лінії зміщення і застряє перед різними перешкодами, що утворюються в процесі деформації або присутні перед нею (перетини траєкторій руху дислокацій, міжкристалічні прикордонні шари тощо). Зміцнення металу в ППО супроводжується підвищенням твердості поверхневого шару. Це зазвичай характеризується ступенем і глибиною наклепу. На діаграмі. 2.16 наведена типова крива зміни твердості по поперечному перерізу деталі, обробленої ППО.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

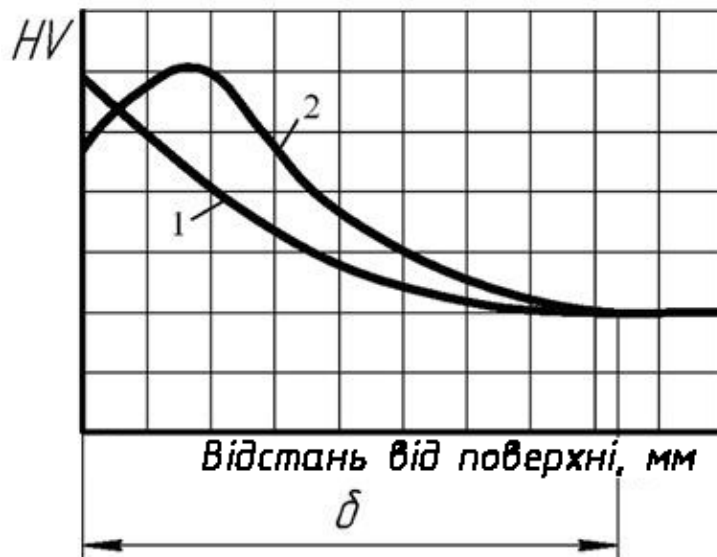


Рисунок 2.16 – Типова крива зміни твердості по поперечному перерізу заготовки, обробленої ППО

Залежно від способу ведення зенітного вогню і його режиму глибина розмазування коливається від кількох сотих до десятих часток міліметра і від кількох міліметрів до десятків міліметрів. Перевищення масштабу відбувається, коли тиск у зоні контакту інструмента з деталлю перевищує певне критичне значення. Це явище, при якому відбувається руйнування кристалічної решітки на поверхневому шарі заготовки, що супроводжується відшаруванням і розшаруванням. Частинки металу. При цьому продуктивність поверхні різко падає. Наклеп незворотній, і термічна обробка не відновить первісну якість металу. Під час ППО в поверхневому шарі заготовки утворюються осьові і тангенціальні (окружні) залишкові напруги стиску, а також малі радіальні розтягуючі напруги, які на поверхні дорівнюють нулю. Це відбувається тому, що, як зазначалося вище, ПФО викликає лавиноподібний розвиток дислокацій і вакансій, утворення мікропор і мікропорожнин в деформованому об'ємі. При цьому щільність поверхневого металу зменшується. (Наприклад, при холодному прокатуванні міді зі ступенем деформації 80% щільність зменшується на 0,67%. Щільність відпаленої сталі після холодної деформації зменшується на 1,1%). Це збільшує

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

питомий об'єм пластично деформованого металевго шару на поверхні до 1% і тим самим збільшує лінійні розміри. Однак, оскільки метали є безперервними твердими матеріалами, цьому збільшенню перешкоджає нижній шар пружної деформації. Тому після ПРО поверхневий шар металу трохи розтягується, а цілісність металу розтягує нижній шар. Причому остання не дозволяє зовнішнім шарам максимально розширити свій розмір, а «утримує» їх. В результаті в пластично деформованому зовнішньому шарі виникає залишкова напруга стиску, а в нижньому шарі — розтягуюча напруга. Залежно від матеріалу заготовки і способу ППО залишкова напруга стиску може досягати 1200-1500 МПа.

Основною причиною втоми є наявність таких дефектів, як смуги, подряпини і тріщини на поверхні деталі, ці дефекти є зонами концентрації напруг, періодично розташованих в зоні розтягування і поступово поглиблюються. В результаті з'являються втомні тріщини і в кінцевому підсумку деталь виходить з ладу. Властивість матеріалів, які є стійкими до втоми, називається стійкістю до втоми. На діаграмі. 2.17 наведено криві втоми деталі до (крива 1) і після (крива 2) обробки ПРО. Видно, що межа довговічності деталей, оброблених ПРО, значно вища, ніж у необроблених ПРО.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

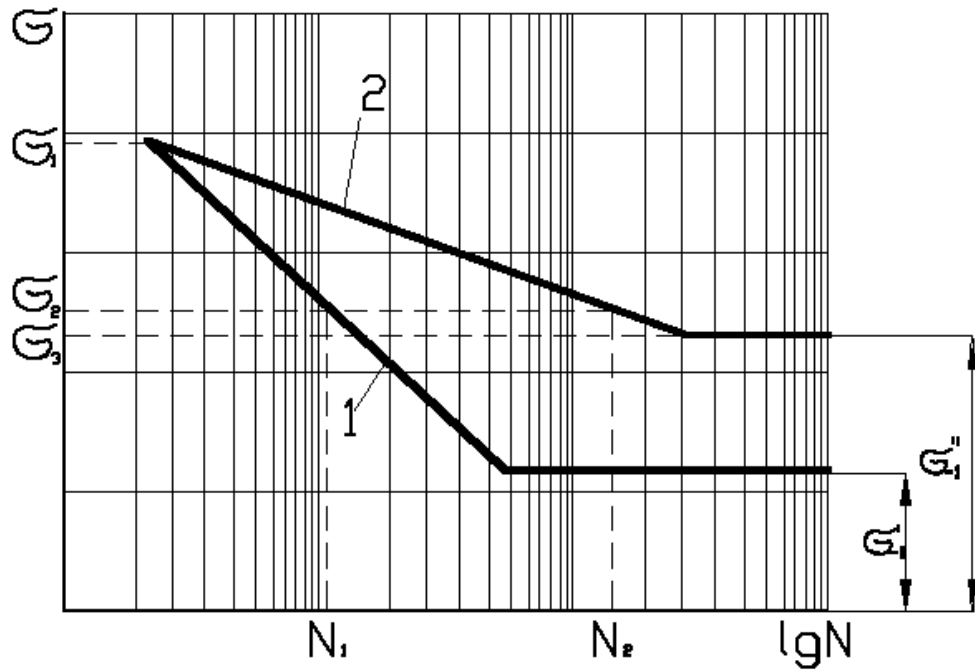


Рисунок 2.17 – Крива втоми деталі:

1 - до обробки ППО. 2 - Після обробки ППО

Величина збільшення меж довговічності в результаті обробки ПРО залежить від конструкції деталі. Чим різкіші концентрації напруги всередині деталі, тим ефективнішою буде обробка ПРО. Для деталей без концентраторів напружень межа міцності після ПРО підвищується на 20-50%. Від 100 до 130% або більше для деталей із зонами концентрації напружень.

Коли деталь працює при циклічному навантаженні в корозійному середовищі, її втомне руйнування відбувається набагато швидше, ніж на повітрі. На діаграмі 2.18 наведено криві втоми зразків абразиву, випробуваних на повітрі (крива 1) і у воді (крива 2). Зверніть увагу, що крива 2 не має горизонтальної ділянки. Це означає, що справжня межа витривалості деталі при корозійній втомі дорівнює нулю.

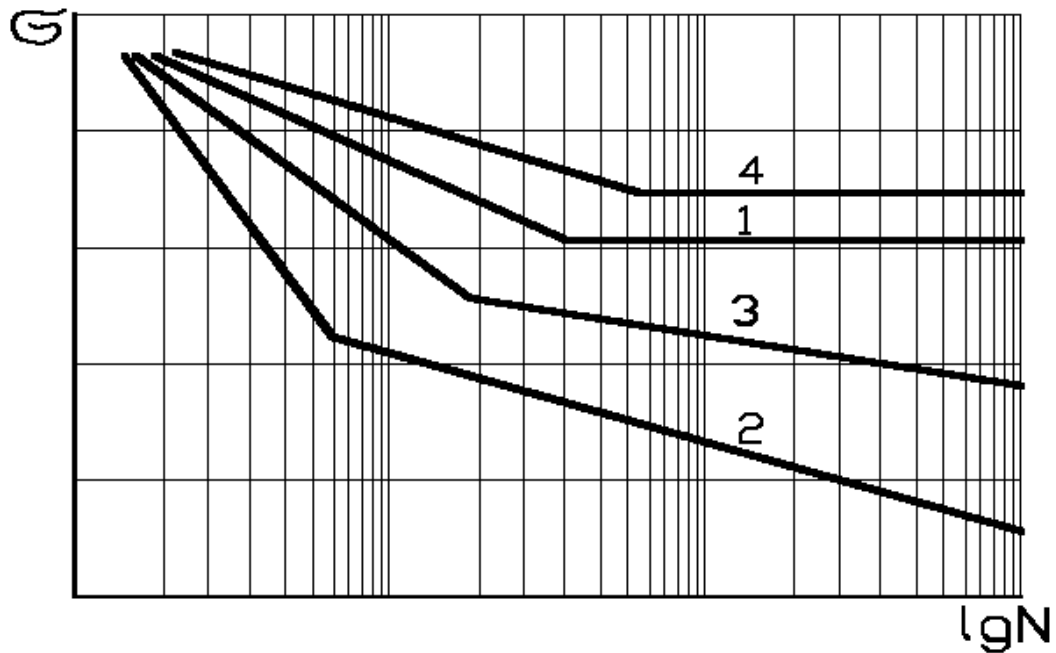


Рисунок 2.18 – Крива корозійної втоми:

1, 2 - Поліровані зразки, випробувані на повітрі (1) і у воді (2).

3, 4 - Після обробки ППО - Під водою

Найбільш поширені типи корозії в атмосфері (особливо в прибережних районах), у прісній і солоній воді та в електролітах.

Амортизація – складний процес. Насправді під цією назвою об'єднані кілька різних процесів, але з різними механізмами. Під час зношування відбуваються такі процеси, як пружна і пластична деформація, зміцнення поверхневого шару металу, адсорбція, дифузія, утворення сполук, зморщування і різання. Найбільш поширений механічний знос. Типи: абразивний знос, водний знос, ерозійний знос, втомний знос і кавітаційний знос. Для заданого стану зношування існує оптимальне значення параметрів шорсткості R_a і R_z , яке забезпечує максимальну зносостійкість. На діаграмі 2.19 показана типова залежність зносу Q від параметра шорсткості поверхні R_a .

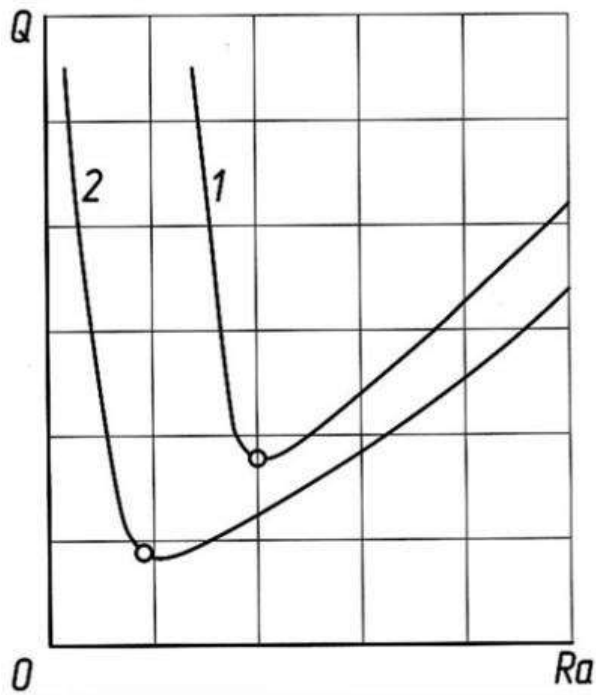


Рисунок 2.19 – Типова залежність зносу Q від параметра Ra .

У зв'язку з великою різноманітністю видів зносу механічних деталей і умов їх експлуатації не можна дати однозначну відповідь про вплив ППО на зносостійкість. Проте в більшості випадків експериментально доведено, що за допомогою ППО можна значно підвищити зносостійкість поверхонь тертя різних деталей, правильно підбравши спосіб і режим роботи ППО. Таким чином, роликів прокатка деталей із середньовуглецевої сталі, прокатка деталей із сталі 45, алмазне вирівнювання в 1,5-2,5 рази стійкіша до зносу порівняно зі шліфуванням (з однаковим параметром Rz), у 1,3 рази стійкіша до полірування. Покращує пол. . - 1,6х. За винятком деяких методів удару, подібні результати отримують при застосуванні інших методів ППО при збільшенні параметра Rz (обробка дробу, карбування). Зокрема, для підвищення зносостійкості ППО обробка шатунних отворів, шийок колінчастого вала, гільз блоку циліндрів, робочих поверхонь калібру тощо.

3.Дослідження обробки поверхні механічних деталей ультразвуковою пластичною деформацією

3.1.Методика експериментального дослідження

Для проведення експериментальних досліджень розроблено пристрій УПР на основі токарного різьбонарізного верстата. Це дозволяє різко видалити інструмент із зразка, щоб вивчити формування гребенів хвилі, утворених попереднім інструментом. Виникає на необроблених ділянках поверхні деталі при пластичній деформації. При розробці приладу були проведені розрахунки конічних і циліндричних концентраторів ультразвукових коливань для посилення і передачі механічних коливань від перетворювача до обладнання. Показано спосіб визначення амплітуди коливань в обладнанні.

Для дослідження структурного стану матеріалу зразків використовуються сучасні оптичні металографічні методи з використанням мікроскопа відбитого світла Axiovert 40 MAT. Хімічний склад матеріалів зразків досліджували за допомогою емісійного спектрометра ARL 3460 Quantris.

Використовували комплексні показники механічного стану поверхні шляхом вимірювання розподілу поверхневої мікротвердості та глибини зміцнювального шару для дослідження ефекту зміцнення при обробці матеріалів з унікальною вихідною поверхневою твердістю за оцінкою пластичної деформації. Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ-3М пресуванням квадратних пірамід навантаженнями 50 і 100 г.

Дослідження геометричного стану оброблених поверхонь проводили за допомогою приладу Zigo New View 7300 та профілографа профілометра модель 252 заводу «Калібр».

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

3.2 Теоретичне дослідження формування поверхні при ультразвуковій пластичній деформації

Запропоновано механізм формування хвилеподібності, згідно з яким гребінь хвилі утворюється шляхом зміщення напливу (матеріалу з центру деформації), що утворився навколо попереднього вдавнення при взаємному переміщенні інструменту та деталі. Новоутворене напливання та подальше злиття під час подальшого зіткнення (рис. 3.1, а) в умовах низьких деформаційних ефектів. При цьому за рахунок зміни рівня поверхні деформованої ділянки та армування заміненого матеріалу кожен наступний відбиток має значення ДРІ вище попереднього.

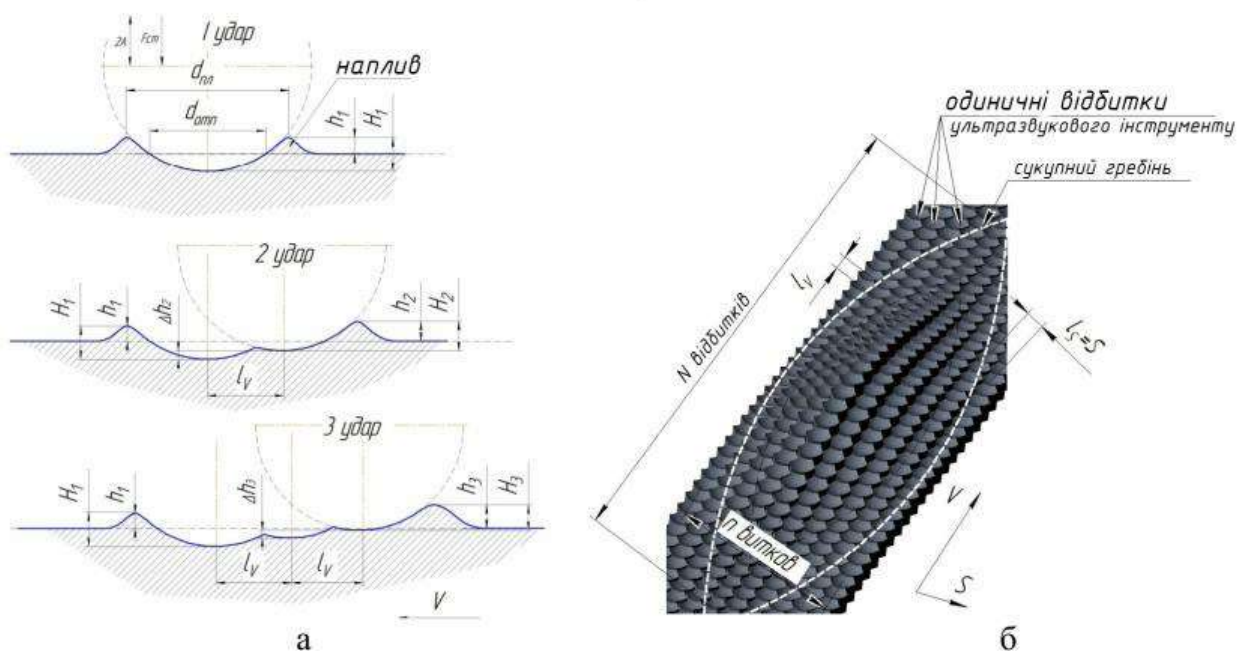


Рисунок 3.1 – Накопичення гребенів хвиль пластичного течії:

а - накопичення хвильових фронтів під час першого удару інструменту; б - Схематична діаграма кумулятивного хвильового фронту, накопиченого за n витків.

Під час різання матеріал поступово зміцнюється і стає все більш стійким до деформації. В результаті настає момент, коли інструмент перестає рухати раніше сформований наплив і починає опускатися по ньому на перший рівень поверхні. Такий механізм формування хвильового фронту досягається малим

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

впливом ультразвукового інструменту на оброблену поверхню та можливістю слідувати формі поверхні за рахунок пружної схеми притискання інструменту до деталі.

Після того, як цикл формування одного гребня хвилі повністю завершено, інструмент переміщається вздовж повороту поворотного способу і починає формувати наступний гребінь хвилі. Цей цикл триває, поки деталь не зробить один оберт. Коли інструмент переходить до наступного оберту, він контактує не тільки з початковою поверхнею, але й з частиною виступу, утвореного в попередньому оберті. В результаті гребені хвилі в пластичному матеріалі утворюються як при русі інструменту вздовж катушки (напрямок V), так і від катушки до катушки (напрямок δ). Утворення зчіпного гребеня відбувається N раз при русі інструмента в напрямку швидкості V і n обертів при русі інструменту в напрямку подачі δ (рис. 3.1, б).

При моделюванні процесу хвилеутворення були зроблені наступні припущення. Початкова поверхня до обробки вважалася абсолютно гладкою. Ковзання форми по поверхні внаслідок руху інструменту в напрямку V не враховується. При моделюванні геометрії одного відбитка враховувався контакт між сферичною поверхнею та плоскою поверхнею, а не циліндричною поверхнею. Оброблені деталі вважалися абсолютно твердими. Розподіл механічних властивостей матеріалу поверхневого шару вважали рівномірним.

Умова формування хвилястості полягає в загальному визначенні максимально допустимої відстані між сусідніми вдавненнями в V і S напрямках. Межі V і S виражаються через параметри режиму обробки V і S відповідно і виражаються наступним чином: Спостерігайте форму системи, нерівності та представляйте критерії утворення хвиль струму.

$$\begin{cases} V \leq \frac{d_{nl}}{2 \cdot 60 \cdot f}, \\ S \leq \frac{d_{nl}}{10} \end{cases} \quad (3.1)$$

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

де d_{pl} – діаметр відбитка з урахуванням напливу, мм,
 f - частота ультразвукових коливань інструменту, кГц;
 V - швидкість обертання шпинделя, м/хв;
 C - Подача, мм / оборот

Параметр d_{pl} представлений параметром обробки, що враховує твердість оброблюваного матеріалу у вигляді залежності від діаметра відбитка, без урахування напливу d_{otr} (рис. 3.1, а). Формування мікрорельєфів описано в роботах Х.М. Рахім'янова.

При обробці в режимі формування сигналу форма сигналу формується положенням хребтів вздовж лінії багатопроменевого променевого випромінювання, як схематично показано на малюнку. 3.2, 3.3.

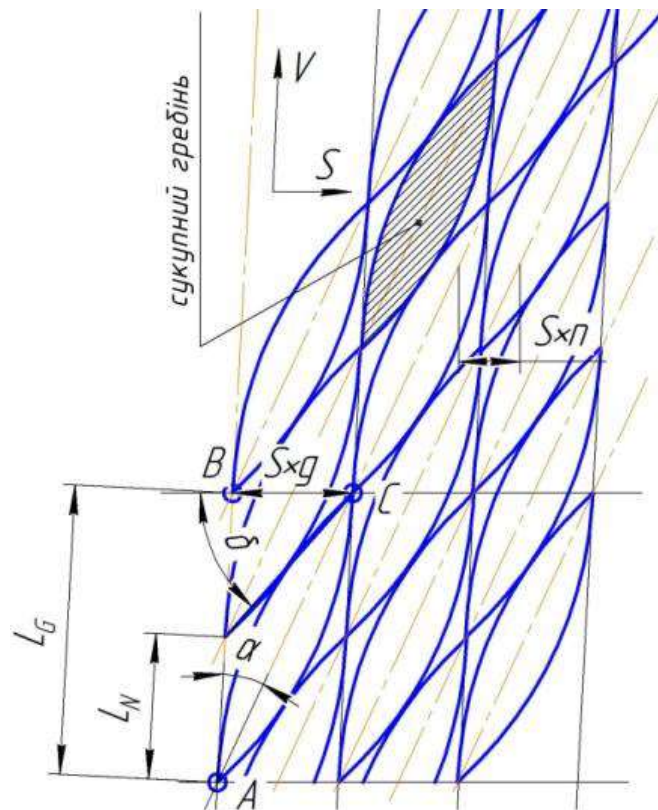


Рисунок 3.2 – Формування хвилі

Взаємне розташування хребтів на суміжних витках західної спіралі залежить від кута зсуву δ .

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$\operatorname{tg}(\delta) = \frac{\frac{x \cdot S \cdot g}{\operatorname{tg}(\alpha)} - l_v \cdot N}{S \cdot g \cdot x}, \quad (3.2)$$

де S - подача, мм/об.

g - Кількість кілець в одній гребінці.

α - Кут нахилу гребеня хвилі.

l_v - Відстань між сусідніми відбитками в напрямку V , мм.

N - Кількість вражень, що утворюють хвильовий фронт у напрямку V .

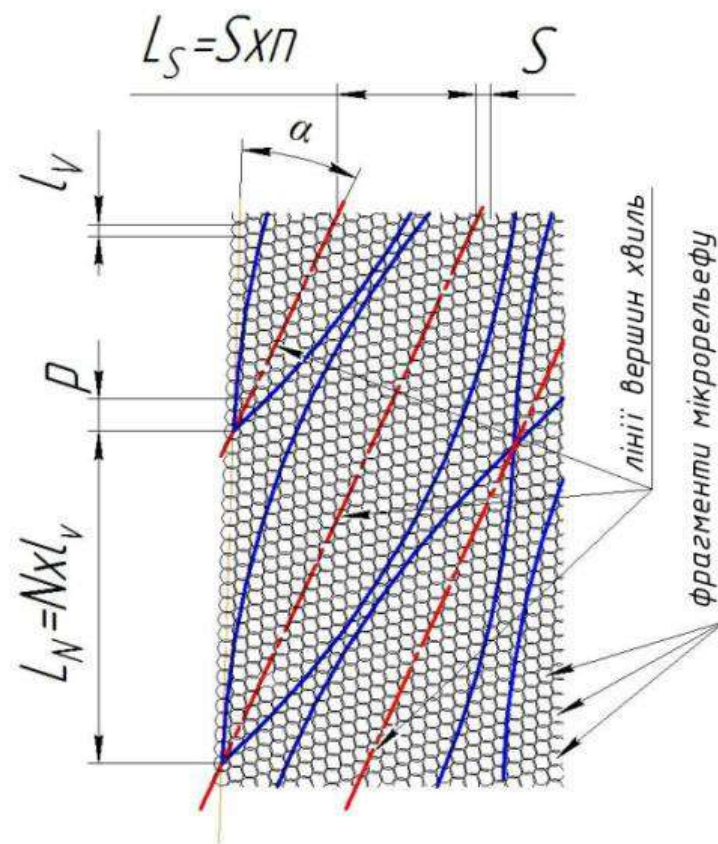


Рисунок 3.3 – Топографічна карта поверхні з хвилястостями, доданими до фрагментів мікронерівностей.

Геометричні параметри багатополосної спіральної лінії визначаються кількістю циклів ($K + k$), протягом яких утворюється один гребінь хвилі за один оберт деталі. Це визначається за такою формулою:

$$K + k = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot f}{n_{\text{ун}} \cdot N}, \quad (3.3)$$

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

де N_{un} - частота обертання шпинделя, об/хв;

k – частина числа $K + k$, що визначає переміщення (p) і нахил хвилі (α) однойменної точки на сусідньому хребті наступним чином (рис. 3.4). формула:

$$K + k = p + \alpha; \quad (3.4)$$

$$\alpha = \begin{cases} \operatorname{arctg} \frac{S}{\left(\frac{6 \cdot 10^4 \cdot f}{n \cdot N} - K \right) \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{6 \cdot 10^4 \cdot f}} \\ \operatorname{arctg} \frac{s}{\left(\frac{6 \cdot 10^4 \cdot f}{n \cdot N} - K - 1 \right) \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{6 \cdot 10^4 \cdot f}} \end{cases} \begin{matrix} (npu & k < 0,5) \\ (npu & k > 0,5) \end{matrix} . \quad (3,5)$$

В цьому випадку значення кроків хвилі (L_N) і (L_S) в V і S напрямках визначаються за такими рівняннями:

$$L_n = l_v \cdot N, L_s = L_N \cdot \operatorname{tg}(\alpha). \quad (3,6)$$

Отримання залежностей (3.2) – (3.6) є математичною моделлю формування хвилястості, яка дозволяє визначити геометричні параметри в УПР в залежності від режиму обробки.

При обробці в режимі, що гарантує відсутність хвилястості на готовій поверхні, ефективність УПР визначається сформованою мікрогеометрією. Його основні параметри визначаються моделлю утворення мікронерівностей, описаною в роботі ГА. Іскаков, Г. М. Ракімянова, І. П. Вест

Ця модель була вдосконалена за допомогою тривимірного моделювання для оцінки ступеня розвитку утворених мікронерівностей (рис. 3.4).

При розрахунку об'єму окремого фрагмента правильного мікрорельєфу враховують інтеграл від крайового інтегралу, а межі фрагмента визначають залежно від режимних параметрів обробки та глибини одиничного відбитка.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$V_{\text{фрагм}} = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} 1 dz, dy, dx. \quad (3,7)$$

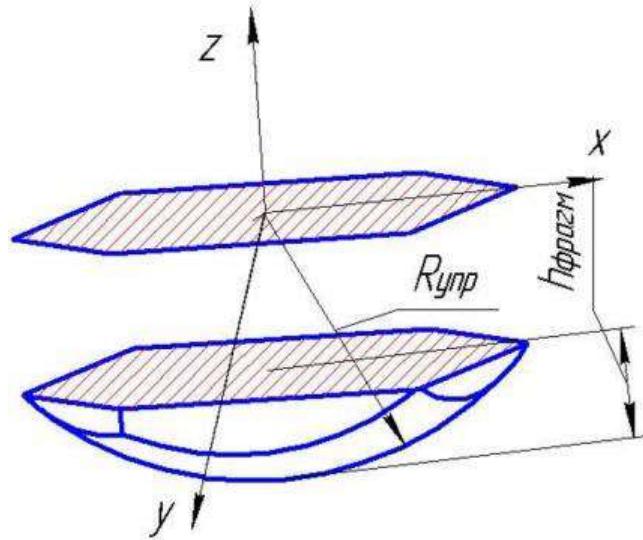


Рисунок 3.4 – Окремий фрагмент мікрорельєфу

Залежності, які дозволяють визначити тривимірні властивості мікрорельєфів, дозволяють контролювати мастило на поверхні ємності та розраховувати контактні навантаження на сполучаються поверхні.

3.3 Експериментальні дослідження

Визначте параметри потоку, що утворюється навколо окремого відбитка при попаданні інструменту на відбиток, щоб визначити параметр d_{pl} , який впливає на процес хвилеутворення відповідно до запропонованого критерію формування хвилі. Буде надано опис експерименту. поверхні. Експериментально встановлено залежність діаметра d_{pl} від діаметра d_{otr} .

$$d_{pl} = 3,5991 \cdot d_{otr}^{0,5476}, \quad (3,8)$$

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

де $d_{omn.}$ - Діаметр відбитка, мм, визначений за ГМ, без урахування напливу. Рахімяновим створено модель формування мікрогеометрії поверхні при УПР залежно від параметрів режиму обробки з урахуванням твердості матеріалу, що обробляється.

На рисунку показано збільшене зображення хвилястості за параметрами, визначеними при перевірці придатності отриманих математичних залежностей. 3.5. Розбіжності в експериментальних геометричних установках не перевищували 15%, що підтверджує адекватність встановлених залежностей.

Дослідження утворення хвилястості при обробці площини диска токарним способом показує, що зі збільшенням швидкості обробки змінюються умови деформування, т.е. аж до зникнення хвиль на периферії диска (рис. 3.6).

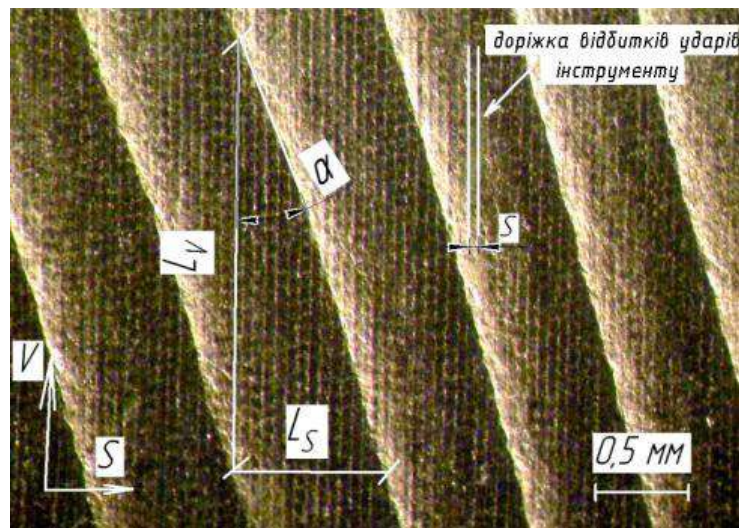


Рисунок 3.5 – Геометричні параметри хвилястості поверхні після УПР деталі з пластичного матеріалу $2A = 25$ мкм, $f = 22,4$ кГц, $F_{ст} = 15$ кг, $n = 936$ об/хв, $S = 0,065$ мм/об, $D_{det} = 41$ мм

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Профілограма, отримана на профілометрі моделі 252 заводу «Калібр» (рис. 3.7), підтверджує точність механізму накопичення хвильового фронту до вирішення критерію формування хвилі пластичного течії.

Тому при обробці поверхні диска, коли діаметр збільшується з 60 мм до 120 мм і збільшується швидкість, хвилі фактично поступово зменшуються, а потім зникають.



Рисунок 3.6 – Хвилястість на поверхні диска

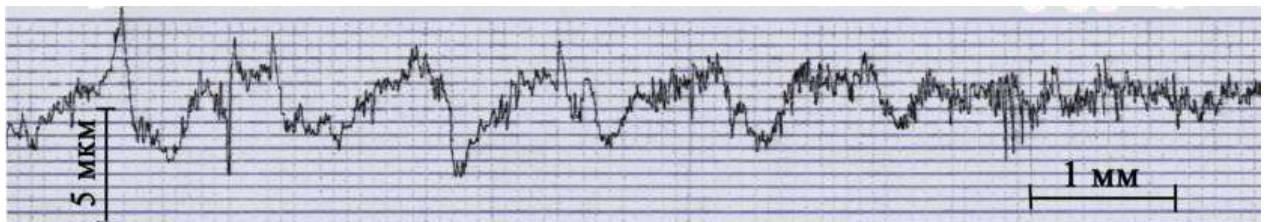


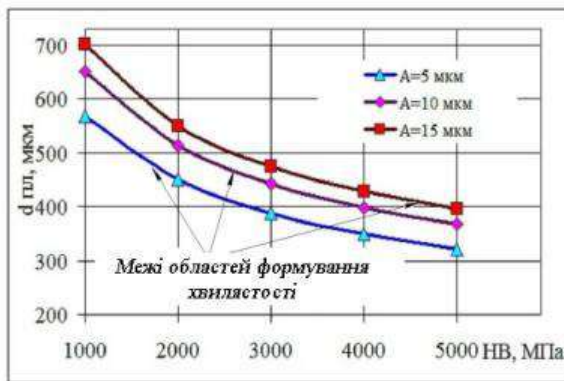
Рисунок 3.7 – Профілограма поверхні зразка диска після UPR

3.4 Технічні рекомендації щодо УПР, що застосовуються до матеріалів різної твердості

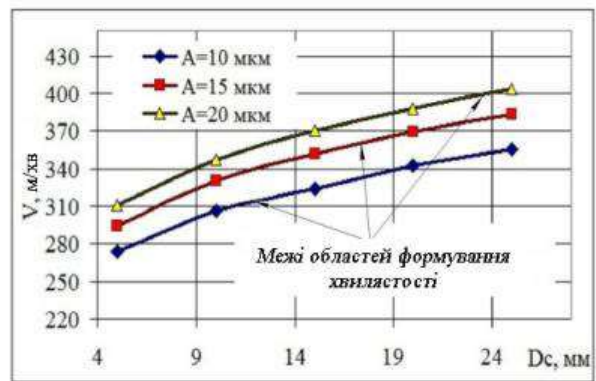
На діаграмі 3.8 а, б, в, г вказано область параметрів моди, що обмежують появу хвилястості.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

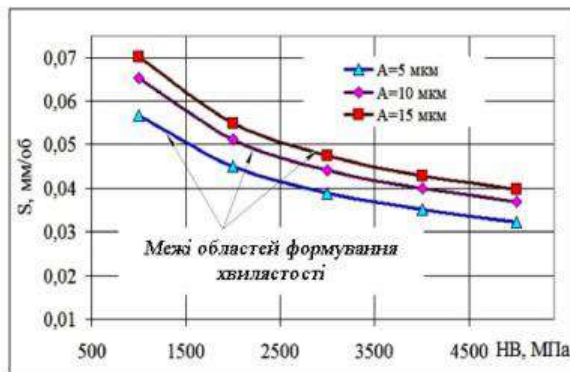
НВ При обробці матеріалів з твердістю понад 5000 МПа діаметр відбитка $d_{пл}$ стає дуже малим, а кінематичні параметри, що використовуються під час обробки, забезпечують, щоб вони потрапляли в область виняткових типів формування хвилястості. описує відсутність хвиль при обробці загартованої сталі та появу хвиль при обробці пластичних матеріалів.



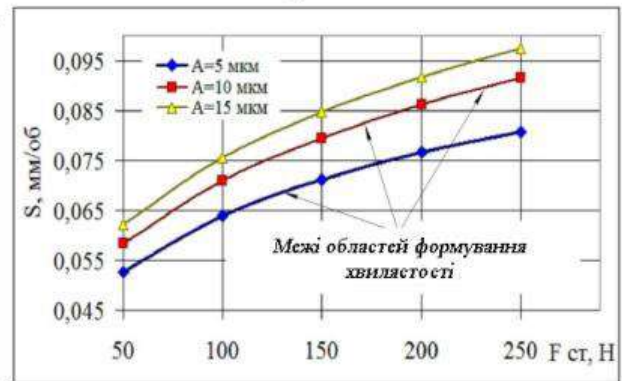
а



б



в



г

Області параметрів режиму, які обмежують появу хвилястості: а - залежність $d_{пл}$ від твердості матеріалу, $F_{ст} = 100$ Н, $D_c = 10$ мм, $f = 20$ кГц, б - залежність швидкості V від діаметра інструмента деформування, $F_{ст} = 100$ Н, НВ 2000 МПа, $f = 20$ кГц, в - залежність швидкості подачі S від твердості оброблюваного матеріалу, $F_{ст} = 100$ Н, $D_c = 10$ мм, $f = 20$ кГц, г - залежність швидкості подачі S від статичної сили при УРО, НВ 2000 МПа, $D_c = 10$ мм, $f = 20$ кГц.

Зміцнюючий ефект обробки UPR оцінювали шляхом вимірювання мікротвердості обробленої поверхні та глибини армованого шару. У ході експериментів було встановлено, що підсилювальний ефект нерівномірно розподілявся по поверхні при формуванні хвиль пластичного течії. поверхні, про що свідчить графік розподілу мікротвердості по поверхні (рисунок 3.9).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 3.9 – Розподіл мікротвердості на поверхні зразка

Якщо обробку проводити в режимі, що виключає утворення хвилястості, ефект зміцнення зменшиться за рахунок зміни умов деформування. Для підвищення ефекту посилення пропонується використовувати багатопрхідну обробку (рисунок 3.10).

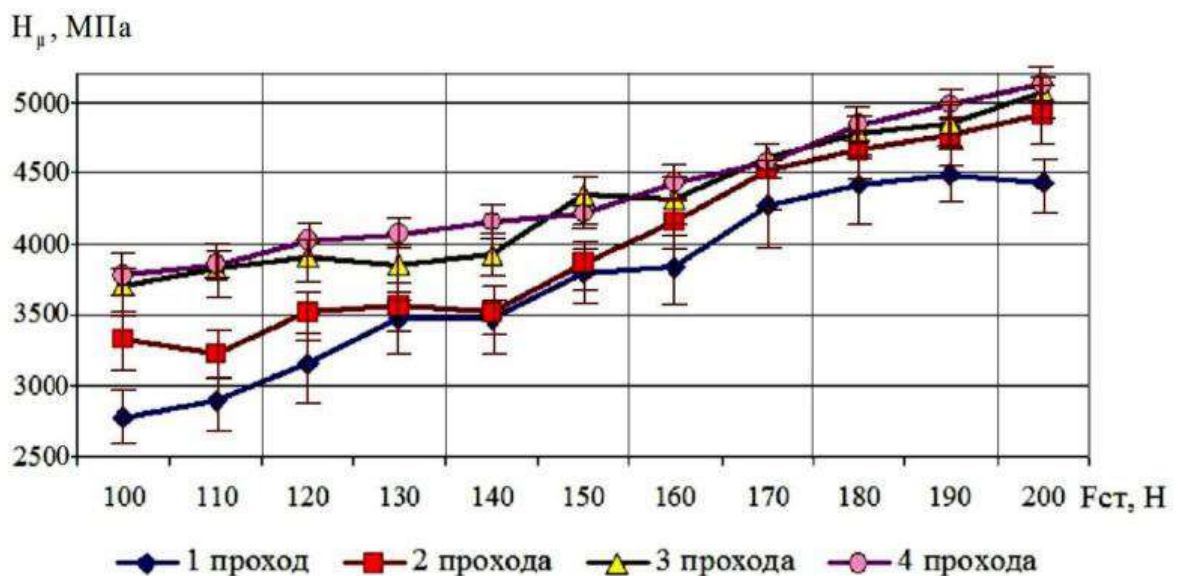


Рисунок 3.10 – Вплив кількості проходів на мікротвердість, сталь 45 (HB 200MPa), 2A=25μm, f=22.4kHz, n=370rpm, DC=8mm

Для забезпечення необхідного рівня армування використання більше чотирьох проходів виявилось недоцільним, оскільки додаткові проходи знижують продуктивність і призводять до перезміцнення матеріалу в поверхневому шарі.

4.Розробка пристрою для зміцнення поверхневого шару механічних деталей ультразвуковою пластичною деформацією

4.1.Обґрунтування необхідності розробки

Недоліком відомих інструментів ультразвукової обробки є недовгий термін служби, обумовлений руйнівною дією поверхні обробки на інструмент. Щоб зменшити реакцію обробленої поверхні на інструмент, використовуються різні прийоми.

Добре відомий інструмент ультразвукової обробки з акустичною системою, яка включає магнітострикційний перетворювач і щільно з'єднаний перетворювач швидкості вібрації. Він розміщений в корпусі з системою охолодження і еластичним корпусом всередині, який надає компресійний ефект. акустична система, індентор зі скла, який встановлений на одній осі з акустичною системою відносно заготовки, і має наскрізний отвір на кінці, і товстий стрижень, який встановлений так, щоб мати можливість здійснювати зворотно-поступальний рух; і стрижень товщини поміщається між краєм скла і випромінюючою поверхнею. Щоб подовжити термін служби інструменту, індентор виготовлено з міцного матеріалу з твердістю, вищою, ніж у матеріалу перетворювача віброшвидкості. У процесі роботи головка інструменту притискається до робочої поверхні, зовнішній кінець ударника знаходиться в механічному контакті з робочою поверхнею, а потовщений кінець - в механічному контакті з випромінюючим кінцем хвилеводної системи. , передає енергію джерела ультразвукових коливань на деталь. Ця передача енергії змушує ударний елемент відскакувати та стикатися з випромінювальною поверхнею кожного разу, коли він контактує з обробленою поверхнею. Відштовхування викликається енергією, не витраченою на пластичну деформацію або рух заготовки. Щоб впливати на оброблену поверхню, твердість ударного елемента повинна бути якомога

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

вищою, але, з іншого боку, чим твердіший ударний елемент, тим сильніший руйнівний вплив на поверхню розсіювання тепла.

Є інструмент ультразвукової обробки. Він містить акустичну систему, подібну до описаного вище пристрою, що включає магнітострикційний перетворювач і щільно з'єднаний з ним перетворювач віброшвидкості, розміщений у корпусі з системою охолодження. Індентор, виконаний у вигляді скла з наскрізним отвором на кінці, з товстим стрижнем всередині нього, встановлений на одній осі з акустичною системою і з функцією тиску акустичної системи на заготовку буде вставлено. Монтується з можливістю зворотно-поступального руху, товщина стрижня розміщується між краєм скла і випромінюючою поверхнею. Для продовження терміну служби між хвилеводом і амортизатором встановлена вставка, яка при пошкодженні може бути замінена. Однак у відомих пристроях основним призначенням вставки є створення можливості обробки кутових з'єднань. Це визначає товщину вставки. Він повинен бути дуже тонким порівняно з довжиною хвилі. Однак вставки такого розміру змінюють умови резонансу ультразвукового хвилеводу та знижують ефективність обробки поверхні.

4.2 Вимоги до розробки

Завдання розробки полягає в тому, щоб створити конструкцію ультразвукового обробного інструменту з подовженим терміном служби.

Ця проблема, як відомо, передбачає, що пропонований ультразвуковий обробний інструмент містить акустичну систему, що містить магнітострикційний перетворювач, розміщений у корпусі з системою охолодження, і датчик швидкості коливань, міцно з'єднаний з ним. На одній осі з акустичною системою розташована пружина, яка може чинити тиск, індентор у вигляді скла з наскрізним отвором на кінці, до якого можна прикріпити товстий стрижень. Під дією зворотно-поступального руху товщина стрижня розташовується між краєм скла і випромінюючою

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

поверхнею. Однак, на відміну від відомого в пропонуваній головці, перетворювач швидкості коливань щільно з'єднаний з циліндричним подовжувачем хвилеводу, довжина якого кратна $\lambda/2$. де λ - довжина поздовжньої хвилі в матеріалі хвилеводу. У вузловій частині виконана канавка, в яку поміщається кулька з можливістю обертального руху навколо своєї осі, а над ним розташована скляна стінка. Коли ударний елемент стикається з обробленою поверхнею, кулька в канавці обертається навколо осі внаслідок тряски, змушуючи чашку індентора рухатися навколо осі. При цьому потовщений кінець кожного ударного елемента також потрапляє на різні ділянки поверхні випромінювання, збільшуючи термін його служби, а отже, і термін служби головки ультразвукового апарату. Завдяки обертальному руху скла індентора положення поверхні обробки, з якою стикається кожен ударний елемент, також змінюється, тим самим збільшуючи швидкість обробки. Як конструктивний елемент вводиться додатковий подовжувач хвилеводу, що створює можливість встановлення на ньому стакана індентора з можливістю обертального руху, але довжина якого кратна половині довжини поздовжньої хвилі будь-які невідповідності в резонансних умовах системи вібрації головки. Таким чином досягається технічний результат продовження терміну служби пристрою. Подальшим технологічним досягненням є збільшення швидкості обробки поверхні.

При попаданні ударного елемента на оброблену поверхню поверхня виробу деформується і при цьому обертається індентор, який через кульку нещільно закріплений на подовженні хвилеводу. Поворот відбувається в протилежному напрямку до нахилу ударника. Нахил ударника забезпечує постійне обертання скла індентора, постійне переміщення ударника відносно оброблюваної поверхні та поверхні випромінювання хвилеводу. Це зменшує руйнівний вплив ударника на радіаційну поверхню. Це також призводить до скорочення часу обробки поверхні.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Оптимальний кут нахилу бойка становить 2° і підібраний експериментально. Були розглянуті наступні фактори: Ефективність інструменту визначається кількістю енергії, що вводиться в оброблюваний продукт системою ультразвукових коливань. Максимальна енергія удару досягається в положенні, де поверхня випромінювання ультразвукової вібраційної системи паралельна поверхні заготовки, а ударний елемент перпендикулярний до поверхні заготовки. Якщо ви помістите ударник під іншим кутом, енергія зменшиться. Тому при розміщенні ударника під кутом до напрямку поширення поздовжньої вібрації величина кута повинна забезпечувати оптимальне значення між енерговитратами удару та енерговитратами обертання індентора. Невелика частина енергії повинна витрачатися на обертання, що стає можливим не тільки завдяки використанню малого кута нахилу, але й тому, що коефіцієнт тертя незначний через введення ультразвукових коливань. Крім того, кут нахилу стрижня регулює швидкість обертання індентора і, відповідно, швидкість обробки, але оптимальний кут нахилу досягається нижче 5° , оскільки більші кути зменшують енергію удару. Однак найкращі результати досягаються при значенні нахилу 2° .

Гвинтове з'єднання дозволяє замінити подовжувач хвилеводу, що дає технічний ефект продовження терміну служби інструменту.

Якщо розширювач хвилеводу виготовляється із загартованої сталі, яка характеризується високою жорсткістю, досягається компроміс між вартістю інструменту та міцнісними властивостями хвилеводу.

Кріплення системи охолодження до вузлової зони акустичної системи не заважає її роботі.

4.3. Будова та принцип дії пристрою для зміцнення поверхневого шару механічних деталей ультразвуковою пластичною деформацією.

На діаграмі. На малюнку 4.1 схематично показаний приклад інструменту ультразвукової обробки.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

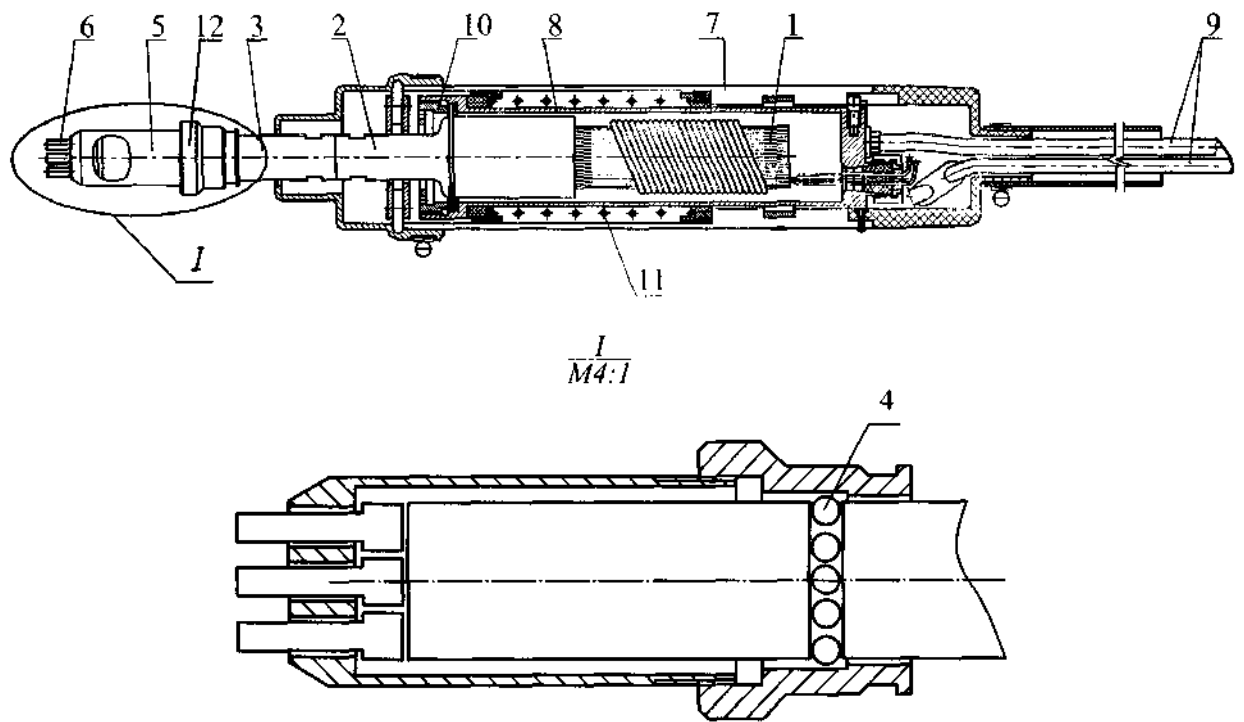


Рисунок 4.1 – Пристрій для зміцнення поверхневого шару механічних деталей ультразвуковою пластичною деформацією

Він містить акустичну систему, що складається з магнітострикційного перетворювача 1 і віброшвидкості 2, міцно з'єднаного з ним, вузлова область якого утворена канавкою для проходження кульки і подовжувачем хвилеводу 3, з'єднаних гвинтами. Система охолодження встановлена в корпусі 7, виконаному у вигляді ємності 8 з підведенням і відводом охолоджуючої рідини 9, на якому встановлена чашка індентора 5 з ударником 6. Бак 8 кріпиться до коливального трансформатора швидкості 2 в його вузловій зоні за допомогою гайок 10. Пружини 11, встановлені проти акустичної системи, також впливають на вузлову зону. На торці склянки 5 індентора є отвір, в якому на кінці розміщений бойок 6, виконаний у вигляді товстого бруска. Потовщений кінець стержня розташовують між скляним кінцем 5 індентора і подовжувачем хвилеводу 3. Отвори в краях скла можна робити під кутом не більше 5° до напрямку поширення світла. Поздовжня хвиля. Щоб запобігти зісковзуванню скляного індентора з кульки, кінець стінки склянки 5 можна

						Арк.
					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з'єднати різьбовим з'єднанням з накладною гайкою 12, яка з'єднана за пазом подовжувача хвилеводу напрямку від кінця.



Рисунок 4.2 Зовнішній вигляд пристрою, що зміцнює поверхневий шар механічних деталей за допомогою ультразвукової пластичної деформації

Так працює апарат ультразвукової терапії.

Магнітострикційний перетворювач 1 збуджує коливання ультразвукової частоти в датчику віброшвидкості 2, який впливає на ударник 6 через хвилевідний розширювач 3. При зіткненні ударника 6 з поверхнею оброблюваного виробу під дією сили, прикладеної до індентора, ударник 6 стикається з поверхнею оброблюваного виробу. Під дією ультразвукових коливань кінцевого хвилеводного розширення 3, що регулюється пружиною 11, ударник 6 накопичує потенціальну енергію. Ударник 6, який долає тиск індентора і перетворює накопичену потенціальну енергію в кінетичну, викликає деформацію на поверхні виробу і водночас викликає чашку індентора 5, яка вільно закріплена на хвилеводі, обертати. - Розширення через кульку 3 4. Коли ударний елемент встановлено перпендикулярно до обробленої поверхні, зсув через «струсування» відбуватиметься випадковим чином. Крім того, оскільки точки зіткнення стрижнів на кінцях розширення

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

хвилеводу 3 випадково зміщуються, кожна точка на кінці стикається з ударним елементом порівняно з випадком, коли чашка індентора 5 міцно закріплена менше разів. При установці ударного елемента похило до напрямку поширення поздовжньої хвилі відбувається зміщення в бік, протилежний нахилу ударного елемента, що додає механічне навантаження від ударного елемента до кожної точки в напрямку поширення поздовжньої хвилі. Переміщення точки контакту подовжувача хвилеводу 3 з поверхнею обробки також зменшується, що також скорочує час обробки. При куті нахилу 2° , коли проектна площа індентора покриває 40% ударника, час обробки поверхні скорочується на 50%, а час підтримки кінця подовжувача хвилеводу в робочому стані становить зменшений. Загартована сталь також збільшується на 50%.

Основним живленням даного інструменту є ряд з чотирьох ударних голок діаметром 3 мм. Залежно від технічних потреб можливі інші варіанти конфігурації інструменту. Глибина поверхневої пластичної деформації (ППД) до 1,5 мм (утворення стискаючих напруг), взаємодія на дислокаційному рівні - рівень ефективного проходження ультразвуку, тобто практично на всю товщину обробленого металу. Ми можемо обробляти будь-які метали та сплави.

Метод ультразвукової обробки зварних з'єднань дозволяє:

- Покращує та стабілізує структуру металу.
- Формування на обробленій поверхні армуючого шару з підвищеною стійкістю до утворення тріщин.
- Зменшує деформацію, викликану зварюванням.
- Зниження концентрації навантаження в комбінації.
- Зменшує деформації, що виникають з часом, і стабілізує властивості металів і з'єднань (штучне старіння).

Вигідно перерозподіляють залишкові зварювальні напруги поблизу зварного шва та зони шва.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

- Зменшує природне напруження з'єднувальної частини.
- Підвищує циклічну довговічність зварних з'єднань до рівня основного металу.

Ультразвуковий технологічний комплекс для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки включає ультразвуковий генератор, систему охолодження, ультразвуковий інструмент з послідовно з'єднаними перетворювачем, трансформатор і індентор з деформаційними елементами, електрообладнаний блоком автоматики, що забезпечує електронний захист від ультразвуковий генератор згідно стандартів. З температурними параметрами і зворотним зв'язком в залежності від максимального струму перетворювача, система охолодження виконана у вигляді замкнутого контуру з насосом і радіатором, причому насос і радіатор знаходяться в одному корпусі з ультразвуковим генератором і ультразвуковим генератором. буде розміщено генератор. В установках автоматики індентори з деформівними елементами виконуються поворотними.

наявність блоку автоматики з електронним захистом ультразвукового генератора по електричним і температурним параметрам і зворотним зв'язком по максимальному струму перетворювача, виконання системи охолодження у вигляді замкнутого контуру з розміщеними в ньому насосом і радіатором; В такому ж корпусі, як ультразвуковий генератор і блок автоматизації, виконання індентора з поворотними деформівними елементами підвищує надійність, мобільність і продуктивність ультразвукового технологічного комплексу для деформування. Загартовуюча релаксаційна процедура.

На діаграмі. 4.3 представлено ультразвуковий технологічний набір для зміцнення деформації та релаксації.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		77

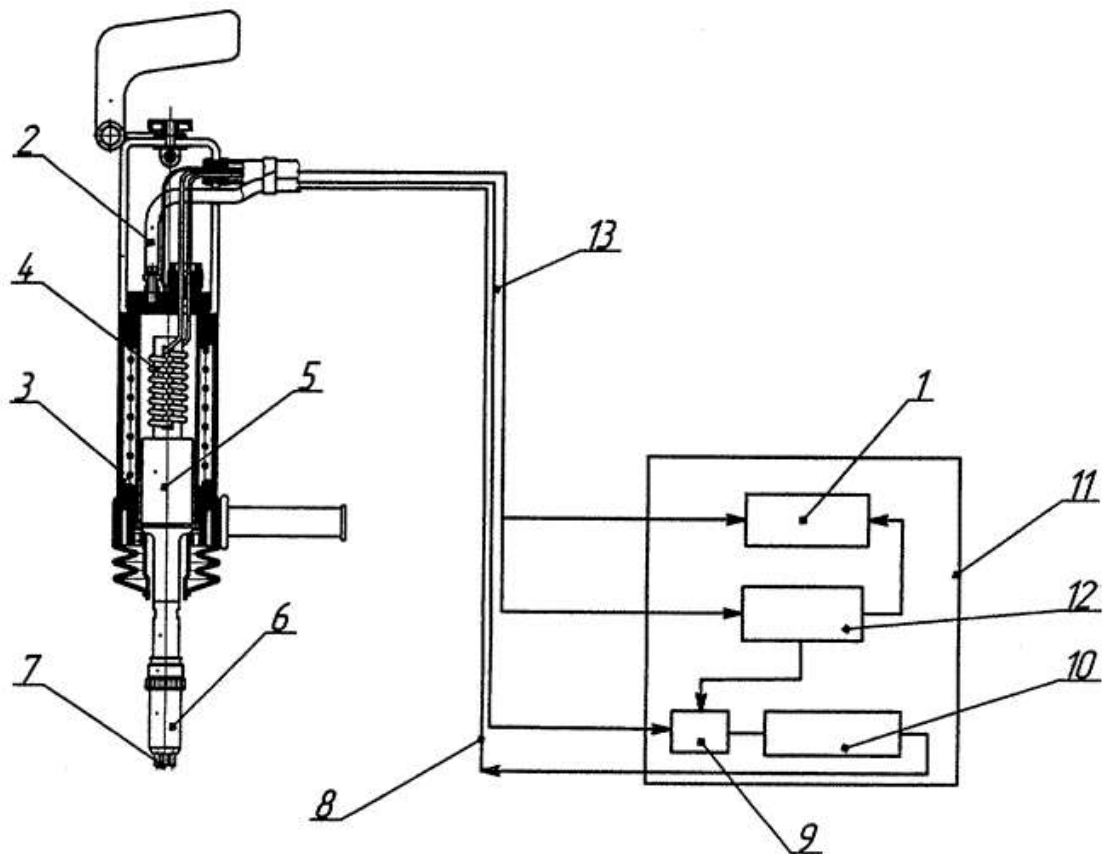


Рисунок 4.3 – Ультразвуковий технологічний набір для зміцнення та релаксації

Ультразвуковий технологічний комплекс для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки включає ультразвуковий генератор 1, систему охолодження 2, ультразвуковий інструмент 3 з перетворювачем 4, індентор 6 з трансформатором 5 і деформаційним елементом 7, насос 9, містить 8 замкнутих контурів з Випромінювач 10, корпус 11, блок автоматики з електронним захистом генератора ультразвуку за електричними і температурними параметрами і зворотним зв'язком по максимальному струму перетворювача 12, гнучкі шланги і з'єднувальні кабелі 13.

Ультразвуковий технологічний набір для деформаційного зміцнення та релаксаційної обробки працює наступним чином:

Ультразвуковий інструмент 3 з'єднаний гнучким шлангом і з'єднувальним кабелем 13 з корпусом 11, в якому встановлений ультразвуковий генератор 1, а блок автоматики забезпечує електронний захист

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

і захист ультразвукового генератора в залежності від електричних і температурних параметрів надається відповідно до максимального значення. Перетворювач струму 12, насос 9 і радіатор 10 замкнутого контуру 8 заповнені теплоносієм, що використовується як антифриз. При запуску ультразвукового генератора 1 перетворювач 4, трансформатор 5 в ультразвуковому інструменті 3 подається під напругу і активує індентор b з деформуючим елементом 7. Деформаційний елемент 7 встановлений під кутом до осі трансформатора 5. При зіткненні деформуючого елемента 7 з робочою поверхнею індентор b починає обертатися, в результаті чого робоча поверхня деформується з високою частотою. Обертаючи індентор 6 і переміщуючи ультразвуковий інструмент 3, поверхня обробки, що має таку ж ширину, як діаметр індентора 6, може бути рівномірно деформована за один прохід, підвищуючи продуктивність обробки. Завдяки електронному захисту ультразвукового генератора по електричним і тепловим параметрам і зворотному зв'язку по максимальному струму перетворювача 12 спрацьовує температурний захист при досягненні теплоносієм в ультразвуковому приладі 3 певної температури в блоці автоматики. У замкнутому контурі 8 включається насос 9, який прокачує теплоносій через радіатор 10, поки температура не досягне заданого параметра. з наявністю замкнутого контуру 8 і розташуванням насоса 9 з радіатором 10 в одному корпусі з генератором ультразвуку 1 і з електронним захистом генератора ультразвуку за електричними і температурними параметрами і зворотним зв'язком по блоку автоматики максимального струму. Перетворювач 12 дозволяє використовувати набір ультразвукової технології для зміцнення деформації та релаксації в польових умовах та різних кліматичних зонах. Підтримка електричних і акустичних параметрів перетворювача 4 формується автоматизованим блоком за програмою, що дозволяє проводити процеси деформаційного зміцнення і релаксації з максимальною продуктивністю.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

ВИСНОВОК

1. Встановлено механізм формування хвилеподібності під час UPR матеріалів із твердістю до HB5000MPa, у якому гребені хвилі багаторазово накопичуються та скидаються в напрямку швидкості та напрямку подачі в умовах мікродеформації, викликані ультразвуковими хвилями. інструмент.

2. Встановлено критерії утворення хвилястості. Це співвідношення між кінематичними параметрами обробки (подача, швидкість) і діаметром пластичного відбитка по відношенню до параметрів деформації процесу (амплітуда і частота вібрації, статична вібрація). зусилля з урахуванням твердості матеріалу, що обробляється, діаметра елемента деформації).

3. Розроблено математичну модель утворення хвилястості УНР, що дозволяє визначити значення її геометричних параметрів. Наведено математичний опис його геометричних параметрів, таких як кількість кроків у спіральній лінії, крок хвилі в V і S напрямках і кут нахилу. Були проведені експериментальні дослідження, які підтвердили правильність отриманих підзалежностей з відмінностями результатів у межах 15%.

4. Отримано залежність сумарного об'єму фрагментів мікронерівностей від режимних параметрів обробки.

5. Експериментально встановлено, що УПО в режимі, який забезпечує утворення хвилястості, призводить до нерівномірного розподілу зміцнюючої дії на оброблену поверхню. При обробці матеріалів з твердістю HB 2000 МПа розкид значень приросту мікротвердості на гребнях і западинах хвилі найбільший і досягає 50%. З підвищенням твердості оброблюваного матеріалу розкид величин приросту мікротвердості зменшується і досягає 20-25% при обробці матеріалів з твердістю HB 5000 МПа.

6. Запропоновано алгоритм вибору робочих параметрів УПР, що забезпечує формування необхідного геометричного та механічного стану поверхневого шару залежно від початкової шорсткості та твердості матеріалу,

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

що обробляється. Підтверджено, що УПО з режимними параметрами, що виключають утворення хвилястості, призводить до зниження ефекту зміцнення. Для забезпечення необхідної міцності рекомендуємо використовувати багатоходову обробку. Збільшення кількості проходів понад чотири виявилось недоцільним через ризик досягнення максимального зміцнення та значного зниження продуктивності обробки.

7. Розроблено пристрій, що використовує ультразвукову пластичну деформацію для зміцнення поверхневого шару механічних деталей та підвищення продуктивності та якості обробки.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Список літератури

1. Поверхнева міцність матеріалів при терті / Ред. Костецького-Київ: Техніка, 1976. -291 с.
2. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О.В. Захарчук.- Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017.- 140. <http://surl.li/qkreeb>
3. Хітров І. О. Ремонт машин і обладнання : навч. посіб. / І. О. Хітров, В. С. Гавриш. – Рівне : НУВГП, 2012. – 184 с.
<http://ep3.nuwm.edu.ua/2214/1/721022%20zah.pdf>
4. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. - 720 с.
<http://surl.li/lzvjnr>
5. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]. ; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К. : Агроосвіта, 2015. 665 с.
https://drive.google.com/file/d/1eWwP_e2WHKh5yqGdebaVbxOIf6JrPTi/view
6. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник. К. : Знання-Прес, 2003. 511 с.
http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Ludchenko_2003_511.pdf
7. Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю: ДСТУ 3649:2008: - режим доступу:
[http://insat.org.ua/files/ project/dstu_3649](http://insat.org.ua/files/project/dstu_3649).
8. Бибіч Б.Є., Лущик В.В. «Технічне обслуговування й ремонт металевих кузовів автомобілів», К., «Либідь», 2001р., 454 с.
9. Божидарнік В.В., Гусев А.П. Основи технології виробництва і ремонту автомобілів: навчальний посібник.- Луцьк: Надстир'я, 2007.-320 с. 9.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Богатчук І.М., Прунько І.Б. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: практикум. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. - 64 с

10. Орован Е. Основи крихкої поведінки металів / Втома та руйнування металів. - Нью-Йорк: Wiley, 1952. – С. 139-167.
11. Гріффіт А.А. Явища розриву і течії в твердих тілах // Філ. Рой. Сосьє, Лондон. - 1920 рік. – В. А221. - С.162-198.
12. Гріффіт А. А. Теорія розриву // Матеріали першої міжнародної конференції прикладної механіки Делфта. - 1924 рік. – С. 55-63.
13. Irwin GR аналіз напруги та деформації біля краю тріщини поперек пластини// Пер. ASME. Дж. апл. Меха. – 1957. – Т. 24. – С. 361-364.

					МРМТВА 24.23612.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83