

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

## Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра


Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»


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

на тему: «Розробка зміцнюючої технології і пристрою для обкатування  
циліндричних сталевих валів підшипникових вузлів автомобіля»

Шифр: ДРБАТ 24.21160.000. ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група МТВАс-21  Д.С. Данюк

Керівник  д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:   
Зав. кафедри ТАМ Диха О.В.  
6 06 2024\_р.

Хмельницький, 2024 р.

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ  
  
Диха О.В.  
" 10 "квітня 2024 р.

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

Данюку Дмитру Сергійовичу

1. Тема проекту:

«Розробка зміцнюючої технології і пристрою для обкатування циліндричних сталевих валів підшипникових вузлів автомобіля»

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

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024р. № 8

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту:

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

1. Обґрунтування впровадження технології підвищення зносостійкості за допомогою обкатування ппд
2. Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів по підвищенню зносостійкості
3. Дослідження зносостійкості пар тертя за допомогою технології зміцнення валів роликками
4. Обґрунтування конструктивних рішень для технології зміцнення роликками валів.

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 10 квітня 2024р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обґрунтування впровадження технології підвищення зносостійкості за допомогою обкатування ппд	1.05.2024	
2	Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів по підвищенню зносостійкості	15.05.2024	
3	Дослідження зносостійкості пар тертя за допомогою технології зміцнення валів роликами	25.05.2024	
4	Обґрунтування конструктивних рішень для технології зміцнення роликами валів	5.06.2024	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	15.06.2024	

Студент

Данок Д.С.

Керівник роботи

Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 82 сторінок, кількість рисунків - 23, таблиць - 2, додатків - 2, кількість джерел згідно із переліком посилань - 32

**Тема «Розробка зміцнюючої технології і пристрою для обкатування циліндричних сталевих валів підшипникових вузлів автомобіля»**

В останні роки в технології металообробки широке поширення одержали динамічні методи зміцнюючої обробки поверхонь пластичним деформуванням (ППД), серед яких важливе місце займає зміцнююча обробка деталей багатоконтактним віброударним інструментом.

Обробка деталей машин поверхневим пластичним деформуванням є одним з найбільш простих і ефективних методів зміцнення. Поверхнєве пластичне деформування підвищує втомну міцність, контактну витривалість і зносостійкість деталей і тим самим збільшує довговічність машин і устаткування.

В процесі виконання роботи





1. Проведено аналіз існуючих технологій і методів підвищення зносостійкості пар тертя.
2. Експериментально досліджена ефективність впливу поверхневого пластичного деформування обкатуванням роликками на підвищення зносостійкості пар тертя.
3. В експериментальній частині досліджена мікроструктуру зразків до і після обкатування їх роликками, розрахована глибина зміцненого шару і зміна шорсткості поверхні зразків.
4. Розроблена технологія підвищення зносостійкості пар тертя і пристрій для зміцнення валів обкатуванням роликками.

Перелік ключових слів: поверхнево-пластична обробка, зносостійкість, трибологічні випробування, мікротвердість, обкатування роликками

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1. ОБГРУНТУВАННЯ ЗНАЧУЩОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ОБКАТУВАННЯ ПІД.....	6
1.1. Характеристика методу поверхнево пластичного деформування (ППД) для процесу зміцнення деталей машин.....	8
1.2. Обґрунтування теми та формулювання основних завдань досліджень.....	14
2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЗНОСОСТІЙКОСТІ.....	17
2.1. Вплив лазерного зміцнення на зносостійкість пар тертя.....	17
2.2. Підвищення зносостійкості за допомогою хіміко-термічної обробки.....	20
2.3. Вплив термообробки на якість підвищення зносостійкості пар тертя.....	27
2.4. Підвищення зносостійкості деталей за допомогою струму високої частоти.....	29
2.5. Підвищення зносостійкості деталей машин за допомогою методу локального зміцнення.....	30

ДРБМТВА 24.21160.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Данок			
Перевір.	Диха			
Н.контр.	Бабак			
Затвер	Диха			
Розробка зміцнюючої технології і пристрою для обкатування циліндричних сталевих валів підшипникових вузлів автомобіля			Літ.	Аркуш
			4	80
			ХНУ, гр. МТВАс-21	

2.6. Підвищення зносостійкості пари тертя під час процесу виборчого переносу.....	32
2.7. Підвищення зносостійкості пар тертя за допомогою поверхнево-пластичним деформуванням.....	33
2.8. Спосіб зміцнення і піняття мастильної здатності валів.....	35
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАР ТЕРТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ВАЛІВ РОЛИКАМИ.....	40
4. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ РОЛИКАМИ ВАЛІВ.....	53
4.1. Обґрунтування вдосконалення технології.....	53
4.2. Вимоги, які ставляться до обладнання.....	54
4.3. Будова і робота обладнання для зміцнення валів обкатуванням роликами.....	55
4.4. Розрахунок конструктивних параметрів технологічного обладнання.....	56
4.5. Розрахунок осі на міцність.....	59
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

Додатки

## ВСТУП

Проблема контролю якості деталей у сучасному машинобудівному виробництві стоїть на першому місці. Під якістю деталей розуміють сукупність їх характеристик, що забезпечують їх придатність для виконання функціонального призначення в різних умовах експлуатації. До таких характеристик відносять витривалість, зносостійкість, корозійну стійкість, твердість і т. д. Ці властивості оцінюють за допомогою відповідних показників, таких як межі витривалості, інтенсивність зношування, втрати від корозії і т. д.

Багато проблем управління якістю деталей можна вирішити за допомогою конструкторсько-технологічного забезпечення їх експлуатаційних характеристик через функціональні параметри якості поверхневих шарів. Першою передумовою цього є наявність функціонального зв'язку між експлуатаційними характеристиками та параметрами якості поверхневих шарів деталей. Це дозволяє не тільки розрахунково обґрунтувати вимоги до параметрів якості, а й визначити напрямок технологічного впливу на поверхневі шари з метою забезпечення номінальних значень допустимих відхилень їх фізично обґрунтованих параметрів. Другою передумовою вирішення цієї проблеми є наявність функціонального зв'язку між параметрами якості та технологічними факторами, такими як спосіб обробки, твердість інструменту, конструкція та параметри інструменту, режими обробки тощо. Це дозволяє аргументовано підходити до вибору факторів, що впливає на формування визначених рівнів якості деталізації.

В останні роки в техніці металообробки набули поширення динамічні методи зміцнення поверхонь пластичним деформуванням (ППД), серед яких важливе місце посідає зміцнення поверхонь деталей багатоконтактним віброударним інструментом.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						6
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Існують різні методи ППД, такі як статична, ударна, вібраційна та ультразвукова поверхнева пластична деформація. В якості робочого середовища використовується рідина (гідравлічний ППД) або стиснене повітря (пневматичний ППД); в якості робочих органів — ролики, кульки, фракції та ін. ППД може виконуватись одночасно декількома способами обробки (комбінований ППД) або послідовно кількома способами (комбінований ППД).

Обробка деталей машин поверхневим пластичним деформуванням є одним із найпростіших і ефективних методів зміцнення. Підвищує втомну міцність, контактну витривалість і зносостійкість деталей, тим самим підвищує довговічність машин і обладнання. У результаті деформації поверхні змінюються мікроструктура і фізико-механічні властивості верхнього шару металу: підвищується його твердість і міцність, виникають сприятливі стискаючі залишкові напруги, зменшується шорсткість поверхні.

Оскільки ці вимоги стосуються найбільш відповідальних деталей машин, роликів прокатки стає все більш поширеною в машинобудівній промисловості як ефективна технологія підвищення зносостійкості пар тертя.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						7
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

# 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВАЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ШЛЯХОМ ОБКАТКИ ППД

## 1.1. Характеристика методу поверхневого пластичного деформування (ППД) для процесу зміцнення деталей машин

Поверхнева пластична деформація (ПДД) — метод обробки деталей, який покращує їх експлуатаційні характеристики без видалення стружки, де пластично деформується лише зовнішній шар. Внаслідок ППД зменшується шорсткість поверхні, підвищується твердість (мікротвердість) металу, у поверхневому шарі утворюються стискаючі залишкові напруги. Це покращує експлуатаційні характеристики деталей, зокрема витривалість у 1,5-2,3 рази, стійкість до заїдань, контактну витривалість та ін.

Особливо ефективний він для зміцнення деталей, що мають конструктивні або технологічні концентратори напружень, наприклад канавки, канавки та ін. Перевагою ППД є його технологічна універсальність і економічність. За характером взаємодії інструменту з деталлю методи ППД поділяють на статичні та ударні.

Статичний ППД виконується переміщенням інструменту по обробленій поверхні з постійною або змінною силою, яка деформує поверхню на певну глибину. При цьому утворюється область пластичного течії - вогнище деформації (ОД). Ударний ППД здійснюється шляхом нанесення хаотично розподілених або регулярних ударів інструментом по деталі.

Фізичний механізм ППД полягає у внутрішньозерновому зсувному переміщенні частин кристала від однієї до іншої, викликаному дислокаціями. Підвищення опору пластичній деформації називається деформаційним зміцненням (наклепом).

Зміцнення визначається ступенем деформації зміщення  $\Gamma$ , але при значному тепловиділенні можливе ослаблення.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						8
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

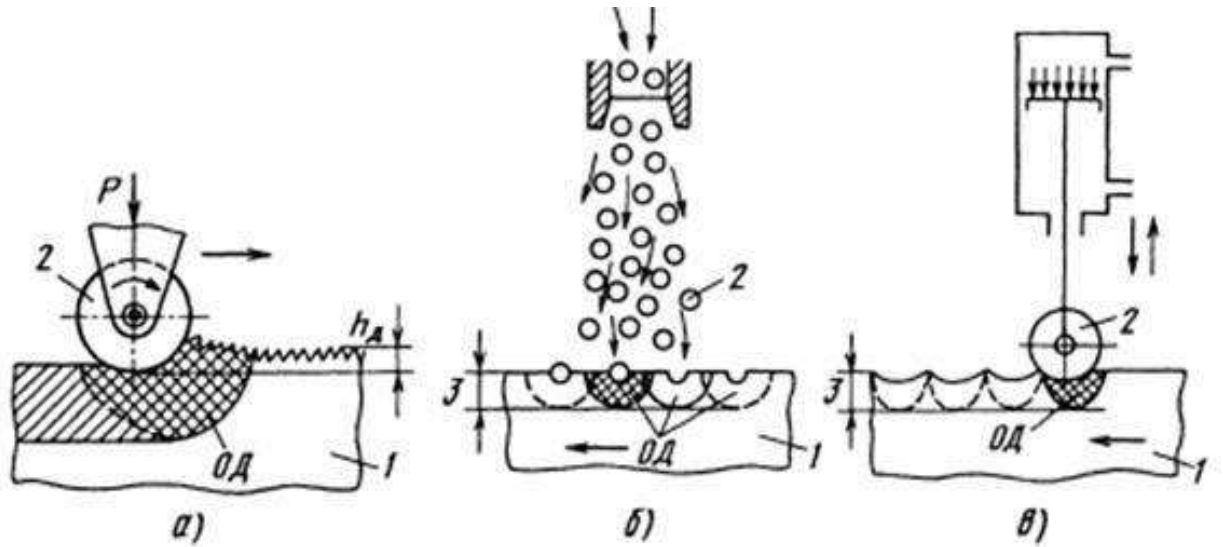


Рис. 1.1 Схеми статичної (а), ударної (б), (в) ППД

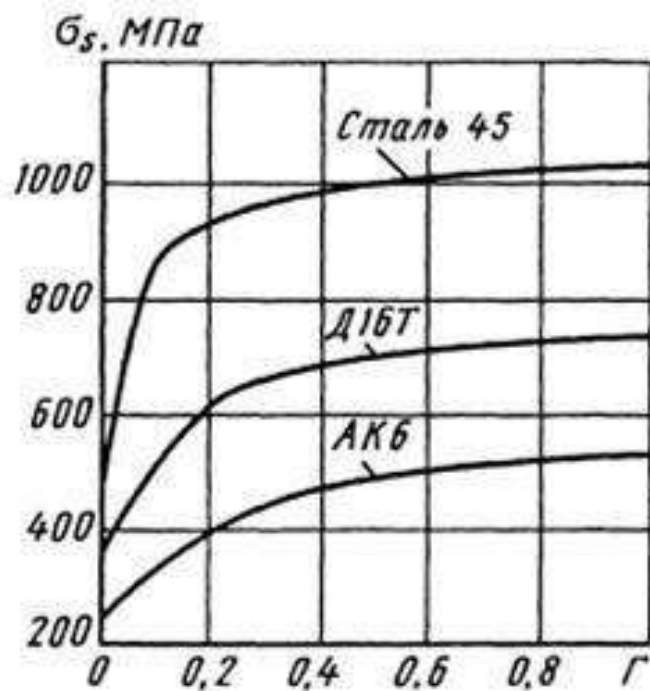


Рис. 1.2. Посилення кривих

Швидкість деформації в діапазоні від  $10^{-4}$  до  $10^{-2}$  см/с не змінює вигляду залежності; однак при більш високих швидкостях вона зростає, що необхідно враховувати при ударних методах ППД. Після досягнення певного значення ступеня деформації ріст практично припиняється. Для кожного

матеріалу існує таке значення накопиченої деформації, після якого подальше зміцнення металу не відбувається. Більш того, надмірне збільшення призведе до значного зниження ресурсу пластичності металу і, відповідно, зниження експлуатаційних характеристик деталі. Ступінь деформаційного зміцнення металу визначається приростом твердості (або мікротвердості), де  $I$  і  $I_0$  відповідають відповідно твердості зміцненого і вихідного металу. Параметри стану поверхневого шару деталей, що істотно впливають на їх довговічність (такі як шорсткість, глибина і ступінь зміцнення, залишкові напруги, ступінь вичерпання ресурсу пластичності металу та ін.), залежать від розміри та напружено-деформований стан ОД, накопичені деформації, які в свою чергу залежать від матеріалу деталі та технології РРД. В результаті технологічних і ресурсних експериментів встановлено математичні залежності, що зв'язують параметри стану поверхневого шару з режимами ППД з одного боку, і характеристики конструктивної міцності деталі з іншого. Глибокому розумінню цих зв'язків сприяє проведення експериментів з використанням розрахунково-експериментальних методів механіки твердих середовищ і теорії обробки металів тиском. Наприклад, результати дослідження методом координатних сіток процесу прокатки вала з роликком показують зміни вздовж центру деформації АБСЕД, швидкості відносного подовження, швидкості деформаційного зміщення, накопиченої деформації, ступінь вичерпання ресурсу пластичності, а також параметри напруженого стану та показник напруженого стану. Подібні результати дають змогу встановити важливі технологічні закономірності зміцнення, а також є основою для побудови адекватної розрахунково-технологічної моделі, що використовується для моделювання процесу ППД на ЕОМ та оптимізації технологічних рішень. Загальне завдання моделювання РРД включає кілька підзавдань, таких як визначення розмірів і форми ОД, розрахунок поля напруги та швидкості деформації в ОД, визначення траєкторій зміщення частинок металу в ОД та обчислення параметрів, які включають ступінь деформації, накопичену

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						10
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

деформацію, глибину зміцнення, залишкові напруги та ін. Обробка результатів моделювання дозволяє отримати ряд важливих висновків, які актуальні не тільки для даного методу ППД, а й для інших, і є основою для технологічних розрахунків:

- Ступінь деформації поверхневого шару і глибина зміцнення залежать від розміру центру деформації, в основному від розміру пластичного відбитка і його кривизни, де параметр центру  $d$ , а  $R_{np}$  - радіус профілю інструмент.
- Ступінь деформаційного зміцнення металу і контактні напруги залежать від накопиченої деформації і кривої зміцнення металу.
- Контактні напруги, відповідно до кривої зміцнення металу, після досягнення певного значення ступеня деформації стабілізуються, наближаючись до твердості металу HB.
- оптимальна ступінь деформації поверхневого шару  $G = 0,5-0,8$  (ступінь деформації  $\epsilon = G / \sqrt{3}$ ).

Статичні методи PPD включають такі прийоми, як прокатка, згладжування, оправлення (з деформуєчим малюнком) і зменшення поверхні.

Прокатку можна розділити на два види: прокатку, яка включає прокатку вала опуклою або плоскою поверхнею, і прокатку - прокатку по отвору або увігнутій поверхні.

У процесі прокатки використовують стандартні кульки або ролики різної конструкції і профілю, як правило, із сталей ШХ15, 18ХВГ, 8Х4У9Ф2, Р18, Р6М5 та ін., твердістю 60...62 HRC. Попередня обробка включає заточування, розточування, фрезерування або шліфування. Твердість деталі не перевищує 45 HRC. У різцедержателях металообробних верстатів, у тому числі верстатів з ЧПУ, встановлюють прості однороликові або однокулькові прокатні пристрої з пружним елементом для підтримки сталості зусилля прокатки.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						11
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Для підвищення продуктивності в масовому виробництві використовують багатоінструментальні пристрої або спеціалізовані верстати, наприклад безцентрові, де зусилля кочення забезпечується гідравлікою.

Багатовалкові інструменти, де ролики (або кульки) встановлені в сепараторі, широко застосовуються для чистової обробки в масовому і серійному виробництві. Регулювання розміру роликів, що визначає ступінь деформації поверхневого шару, здійснюється переміщенням опорних конічних елементів.

Обкатка зубчастих коліс і різьби виконується фасонним інструментом, як правило, на спеціальних верстатах. Залежно від призначення вальцювання можна розділити на гладке, зміцнювальне і формувальне.

Гладку прокатку застосовують для отримання поверхні з малою шорсткістю, зміцнення - для збільшення товщини поверхневого шару з високим рівнем деформаційного зміцнення і стискаючих залишкових напружень.

Прийоми гладкого і зміцнювального прокатки відрізняються основними режимами деформації і формою робочої частини ролика. Для арматурного прокату використовують ролики круглого профілю з малим (3...8 мм) радіусом профілю, для гладкого прокату - з більшим радіусом профілю або конічні ролики з малим діаметром (6...20 мм).

М'ячі, завдяки своїй простоті і доступності, використовуються у виробництві як в одиничних, так і в серійних обсягах.

Згладжування — це метод РРД, при якому інструмент ковзає по поверхні деформованого матеріалу. Для згладжування використовуються тіпси різної форми з алмазів або надтвердих синтетичних матеріалів.

Найпоширенішим у машинобудуванні є алмазне згладжування (АВ). Відмінністю АВ від прокатки є висока твердість і малий радіус профілю деформуючих інструментів (0,5...4 мм), що дозволяє локально деформувати поверхневий шар малими зусиллями.

У зв'язку з цим раціональною областю застосування алмазного вигладжування є обробка загартованих деталей, надтвердих покриттів або деталей з низькою

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						12
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

твердістю. Як правило, для АБ використовують пружні тримачі, встановлені на універсальних або спеціальних металообробних верстатах. Точність обробки при прокатці та гладженні залишається на початковому рівні. При роботі твердим інструментом шорсткість поверхні збільшується на 10...15% за рахунок нерівномірного загладжування. До основних технологічних факторів, що впливають на шорсткість і зміцнення при прокатці і гладженні, відносяться радіальна деформаційна сила  $P$  (або заданий натяг  $h$ , якщо використовується суцільний інструмент), подача  $S$ , діаметр ролика (або кулі)  $Z$ , профіль радіус інструменту в площині подачі, швидкість  $V_y$  і шорсткість поверхні заготовки  $RZHCX$ . Кількість деформуючих інструментів у конфігурації  $Z$ , кількість робочих ходів та ін.

Основними технологічними факторами прокатки та вирівнювання є сила деформації  $P$ , подача  $S$  та радіус профілю інструменту  $R$ . Розрахунок режимів зміцнення можна проводити двома методами: за допомогою емпіричних залежностей або за параметрами зона деформації.

При останньому способі силу  $P$  вибирають так, щоб забезпечити необхідний ступінь деформації зміщення ( $H_{opt}=0,5...0,8$ ) і глибину зміцнення  $h_s$  в межах  $(0,02...0,1)$  радіус деталі. Розрахунок  $P$  при арматурній прокатці живильним роликом і при гладженні ведеться за певним алгоритмом.

При прокатці твердими інструментами заданий натяг  $h$  вибирають в межах  $0,03...0,3$  мм в залежності від початкової шорсткості, точності заготовки і твердості інструменту. Подача впливає як на продуктивність, так і на шорсткість поверхні. Його вибирають із співвідношення  $d/S$  на барабан, яке зазвичай становить  $2...6$ . Швидкість прокатки і згладжування мало впливає на параметри зміцнення і зазвичай вибирається в межах  $30-150$  мм/хв.

Рекомендується скручувати і прасувати одним рухом. Мастильно-охолоджувальне середовище може включати машинне масло, сульфозфрезол. При обробці чавуну таке охолодження може не знадобитися. Подача на оборот (мм) при остаточній обкатці роликками круглого профілю.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						13
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Вібропрокатка - це спосіб, при якому загартовані сталеві кульки за допомогою додаткових коливальних рухів прокатують поверхню деталі, утворюючи на ній правильний мікрорельєф. Залежно від траєкторії руху інструменту утворюються борозни різного малюнка.

Вібропрокатку можна виконувати на металообробних верстатах, головним чином токарних, з використанням різних типів пристроїв для створення коливального руху. До контрольних параметрів вібропрокатки відносяться сила  $P$ , амплітуда коливань інструмента  $a$ , частота подвійних ходів інструмента  $N$ , радіус кульової або алмазної кельми, частота обертання деталі  $r$  і подачі  $S$ , які встановлюються відповідно до заданих характеристик мікрорельєфу.

## **1.2. Обґрунтування теми та формулювання основних завдань дослідження**

Якість машин характеризується не тільки їх здатністю виконувати задані функції, а й насамперед рівнем надійності та можливістю тривалого збереження і, при необхідності, відновлення працездатності з мінімальними витратами часу, праці та гроші. На підприємствах, які займаються ремонтом і обслуговуванням машинно-тракторних парків, нова техніка втілюється у вигляді машин і устаткування, а також у змінах технологій і організації виробництва. Удосконалення ремонтно-технічного обслуговування на підприємствах народного господарства досягається завдяки таким важливим характеристикам машин, як довговічність, надійність, ремонтпридатність та іншим, які значно збільшують термін їх служби. На сьогоднішній день на більшості підприємств агропромислового комплексу ремонтна база зазнала серйозних змін, і хоч обладнання та обладнання можуть бути присутніми, але засобів для підтримки їх працездатності, як правило, недостатньо.

Одним із основних методів підвищення надійності машин є застосування технологічних методів обробки, що забезпечують високі експлуатаційні

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						14
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

характеристики деталей. Експлуатаційні характеристики деталей значною мірою залежать від стану поверхні і властивостей, що утворюються в результаті обробки. Зв'язок між якістю поверхневого шару та експлуатаційними властивостями деталей свідчить про те, що оптимальна поверхня повинна бути достатньо твердою, мати стискаючі залишкові напруження, дрібнодисперсну структуру та згладжену форму мікрорівномірностей. Застосування широко поширених сьогодні методів обробки дозволяє отримати необхідну форму деталей, але часто не забезпечує необхідної якості поверхневого шару. Зазначених характеристик поверхні можна досягти за рахунок зміцнення пластичною деформацією металу.

Зміцнення методом поверхневої пластичної деформації (ППД) є одним із найпростіших і надійних способів збільшення терміну служби деталей машин, які працюють у різних умовах експлуатації. Проблеми, що виникають при виконанні операцій ППД, стосуються переважно галузі техніки та пошуку найбільш раціональних і високопродуктивних способів формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару деталей машин, а також створення обладнання для їх реалізації. . Сьогодні використовуються наступні способи обробки ППД зміцнення: дробеструйна обробка, прокатка або прокатка кульками або роликами, оправка, відцентрова кулька (обертальна), ковкання та інші. Ці методи відрізняються схемами силового впливу на деталь, продуктивністю, економічністю та іншими показниками. Вони забезпечують необхідну якість поверхневого шару, але можуть бути нераціональними через громіздкість обладнання, низьку точність регулювання режимів зміцнювальної обробки, підвищену енергоємність.

Одним із шляхів вирішення розглянутої проблеми є технологія прокатки роликами, основними перевагами якої є точність регулювання параметрів зміцнення та можливість виконання операції безпосередньо на виробництві. Крім того, технологію бігу з роликами, яка базується на силовому впливі на об'єкт за допомогою одного з найпотужніших динамічних навантажень, можна

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						15
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

віднести до ресурсозберігаючих технологій. Враховуючи зростаючі вимоги до якості та необхідність забезпечення довговічності деталей в процесі експлуатації, дослідження спрямовані на розробку методики призначення раціональних режимів обробки, що забезпечують високу зносостійкість поверхневого шару, та розробку методики для проектування технологічної операції прокатки роликів є актуальними. Метою досліджень є підвищення зносостійкості та якості робочих поверхонь пар тертя шляхом розробки технології зміцнення валів прокатуванням їх роликками. Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

1. Провести аналіз існуючих технологій і методів підвищення зносостійкості пар тертя.
2. Експериментально дослідити ефективність впливу поверхневої пластичної деформації коченням роликками на підвищення зносостійкості пар тертя.
3. В експериментальній частині виявити мікроструктуру зразків до та після прокатки їх роликками, розрахувати глибину зміцненого шару та зміну шорсткості поверхні зразків.
4. Розробити технологію підвищення зносостійкості пар тертя та пристрій зміцнення валів прокатуванням їх роликками.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						16
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

## 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РІЗНИХ ПАР ТЕРТЯ

### 2.1. Вплив лазерного зміцнення на зносостійкість різних пар тертя

Досліджено склад високоміцного чавуну ВЧ60–2 (мас. %): 3,60 С; 2,15 Si; 1,40 Mn; 0,07 S; 0,06 P; решта Fe. Обробку безперервним випромінюванням 2-лазера в режимах з оплавленням поверхні та без неї проводили на установці ЛТ1-2М в повітряній атмосфері при потужності випромінювання  $P = 0,5 - 2,5$  кВт, швидкості руху зразків під балкою  $V = 250 - 2000$  мм/хв. Промінь на поверхні зразків мав форму прямокутника з різними розмірами (довжина 5,0 – 10,5 і ширина 0,7 – 5,5 мм). Для випробувань на абразивне зношування торцеву поверхню (7|17 мм) чавунних зразків розміром 7|17|20 мм зміцнювали на глибину 0,8 мм за один прохід лазерного променя (з метою підвищення швидкості відведення тепла, зразки були частково занурені у воду в процесі опромінення). Вплив лазерного зміцнення чавуну на стійкість до абразивного зношування. Перед випробуваннями на абразивну зносостійкість розплавлений шар товщиною до 0,15 мм піддавався механічному поліруванню. Досліджувана зона зміцнення з твердого стану характеризувалася середньою мікротвердістю 8,0-9,0 ГПа та вмістом аустеніту близько 25 об. %. З рис. 2.1, а звідси випливає, що лазерне зміцнення призводить до значного підвищення стійкості чавуну до абразивного зношування (в 2,1 рази при випробуванні на корунді і в 3,3 рази - на кремені).

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						17
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

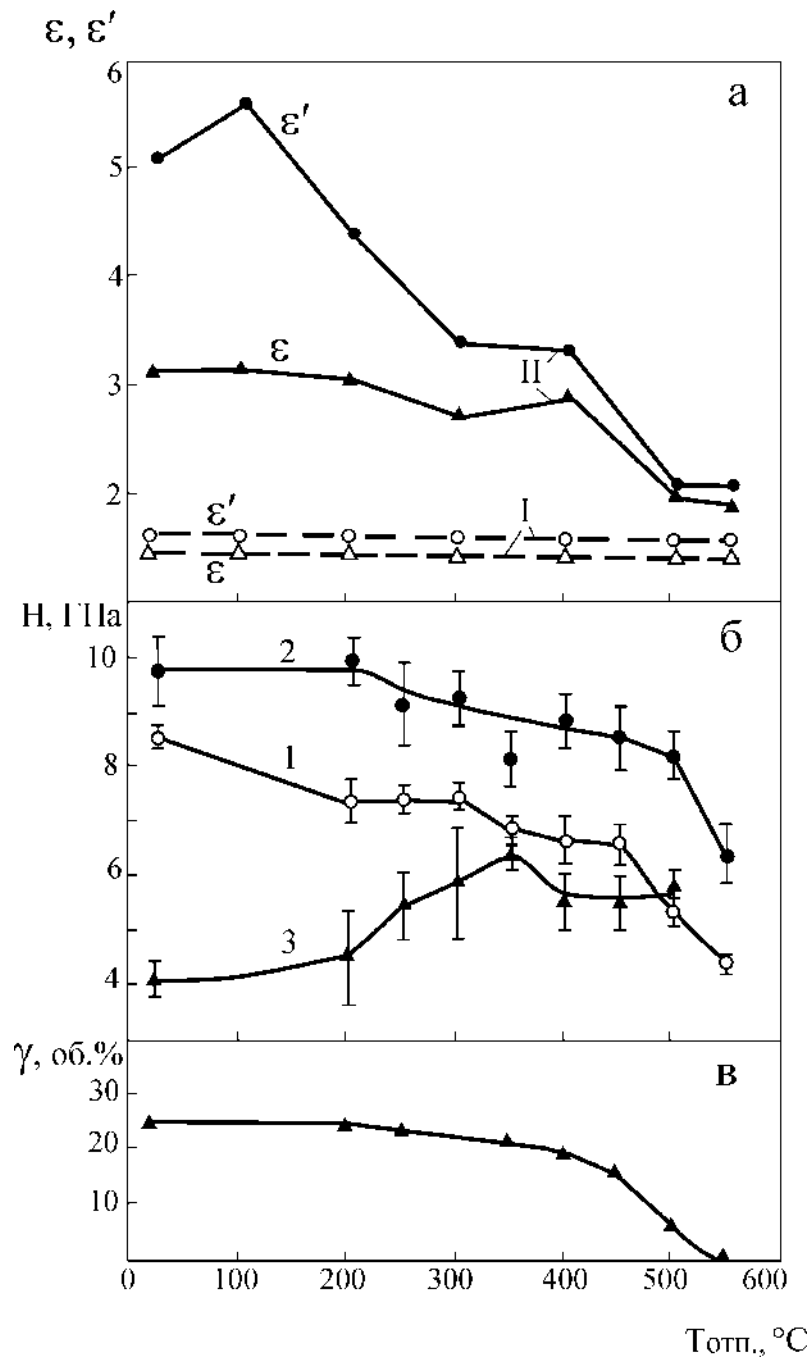


Рис. 2.1. Вплив температури відпуску  $T_0$  (витримка 1 год) на абразивну зносостійкість при випробуванні || i || || (а), мікротвердість окремих структурних компонентів  $H$  (б), а також кількість залишкового аустеніту (в) у || структурі чавуну ХВ60-2, що пройшов лазерну обробку: я– без лазера; II - з лазером; 1 – мартенсит + аустеніт; 2 – обробка ледебуриту; 3 – обробка аустенітом

При зношуванні корундом (твердість  $H \approx 20$  ГПа) руйнування як незагартованого, так і обробленого лазером чавуну відбувається за механізмом мікрорізання, оскільки твердість абразиву перевищує твердість досліджуваного матеріалу більш ніж у 1,3-1,4 рази. [16]. При випробуваннях на більш м'якому абразиві – кремені ( $H \approx 10$  ГПа) основним механізмом зношування зміцненого шару, який має рівень твердості, порівнянний з кременем, є пластична екструзія (подряпування). Дряпання характеризується менш інтенсивним руйнуванням матеріалу порівняно з мікрорізанням. Цим пояснюється більш значне підвищення зносостійкості чавуну в результаті лазерної обробки під час випробування на кремені.

Підвищена зносостійкість лазерно зміцненого чавуну зумовлена, перш за все, наявністю в аналізованому шарі близько 75 об.% високовуглецевого мартенситу, який має не тільки високу початкову твердість (рис. 2.1, б, крива 1), а й здатність зазнавати інтенсивного деформаційного зміцнення в процесі абразивного зношування [17]. Останнє пов'язане з ефективною фіксацією численних дислокацій, що виникають при терті атомами вуглецю внаслідок розвитку лазерного зміцнення в мартенситі під дією контактного навантаження процесів деформаційного динамічного старіння [17, 18]. Зазначені в таблиці. 2.1 Результати випробувань пари тертя «чавунний вал-вкладиш» на машині тертя ППС-2 показують, що лазерне зміцнення втулок (вала) з високоміцного чавуну знижує знос обох валу (на 3,9 - 5,3 рази) і вкладиш з бронзи з робочим покриттям (30 разів) або алюмінієвого сплаву (7 разів). Електронно-мікроскопічними дослідженнями встановлено, що висока міцність чавунних поверхонь, оброблених лазерним випромінюванням, обмежує розвиток на них пластичних деформацій і адгезійних процесів.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						19
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Вплив лазерної обробки на зносостійкість пари тертя в умовах тертя ковзання  
з мастилом

Стан валу з чавуну ВЧ60	Матеріал, з якого виготовлена вставка	Знос вала, мкм	Знос вкладиша, г
вихідні	Бронза Br.Z30–(Pb,Sn,Cu)	5.9	1.75
вихідні	Алюмінієвий сплав АО20–1	5.5	0,15
Лазерна обробка	Бронза Br.Z30–(Pb,Sn,Cu)	1,2	0,06
Лазерна обробка	Алюмінієвий сплав АТ20-1	1.5	0,02

## 2.2. Підвищення зносостійкості за допомогою хіміко-термічної обробки

Дуже перспективним методом нанесення покриттів є електродугова металізація. Основними перевагами цього процесу є висока продуктивність нанесення покриття, можливість отримання шарів товщиною в кілька міліметрів, висока зносостійкість (в 1,5-2 рази вище, ніж у нової деталі), простота і технологічність процесу, а також можливість нанесення на поверхню покриття з різних наплавлюваних матеріалів. Цей спосіб широко використовується для антикорозійного захисту алюмінієвих і цинкових трубопроводів, цистерн, контейнерів, металоконструкцій тваринницьких комплексів кормозаготівельних цехів і агрохімічного обладнання.

Плазмове напилення є одним з найбільш цікавих і ефективних методів нанесення захисних і зміцнюючих покриттів на поверхню деталей. Цей процес передбачає введення матеріалу у вигляді порошку або дроту в плазмовий струмінь, де він нагрівається в процесі руху з потоком газу до температур, що перевищують його температуру плавлення, і розганяється до швидкостей порядку кількох сотень метрів на годину. другий. Плазмове напилення вважається одним із найпоширеніших і найскладніших процесів плазмової

обробки. За поширеністю він поступається лише плазмовому різанню, але є більш складним за рахунок широкого кола завдань, що вирішуються, складу плазмоутворюючих газів і сумішей, а також різноманітності застосовуваних матеріалів.

Стійкість деформуючого інструменту в значній мірі визначається структурою і властивостями його поверхневих шарів, які в процесі експлуатації піддаються найбільш інтенсивному тепловому і механічному впливу. Тому хіміко-термічна обробка, яка надає поверхневим шарам ряд специфічних властивостей, є одним із ефективних методів збільшення терміну служби деформуючого інструменту. Для дифузійного зміцнення інструменту застосовуються як традиційні (цементация, азотування, азотування), так і новіші (хромування, борування, комплексне насичення) методи хіміко-термічної обробки.

Цементация — це процес насичення вуглецем поверхневих шарів деталей з низьковуглецевих сталей. Деталь, що пройшла цементацию, добре схоплюється загартуванням, після чого має високу поверхневу твердість і зносостійкість. Напрямні втулки та стійки часто цементують.

Цементують деталі в газовому або рідкому середовищі або в твердому карбюраторі. Штамповані деталі часто цементують у твердому карбюраторі, що складається з деревного вугілля (90%) і вуглекислого газу барію (10%). Деталі завантажують в піч, температура якої піднімається до 900-920°C. Тривалість процесу залежить від глибини цементации і може бути розрахована виходячи із середньої швидкості цементации, яка становить 0,15 - 0,25 мм/год.

Азотування (азотування) — процес насичення поверхневих шарів сталевих деталей азотом у спеціальних умовах. В результаті хімічних реакцій азоту з легуючими елементами в поверхневому шарі утворюються нітриди, які підвищують твердість поверхні, але водночас роблять її більш крихкою. Температура азотування зазвичай коливається від 500 до 550°C, що дозволяє

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						21
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

досягти високої поверхневої твердості (до 70 HRC). Товщина азотованого шару залежить від тривалості процесу.

Отримана більша поверхнева твердість і значна стійкість до стирання і появи теплових тріщин зберігаються в робочій порожнині штампа при його нагріванні до температури не вище 400-450°C, тому для виробів, метал яких вимагає підвищеної температури. температура для штампування, застосування азотування штампів не рекомендується. Термодифузійне хромування, яке призводить до збагачення поверхні хромом до 60%, при цьому вміст хрому в поверхневому шарі поступово знижується до 0% на глибині декількох міліметрів. Таке хромування призводить до підвищення твердості за Брінеллем до 900 одиниць і підвищення стійкості до азотної кислоти. Ціанування та нітроцементування. Дифузійне насичення поверхневих шарів сталевих виробів одночасно вуглецем і азотом у газовому середовищі називають нітроцементациєю, а в розплаві, що містить ціаністі солі, — ціануванням.

Розрізняють високотемпературні та низькотемпературні процеси нітроцементациї та ціанування. При високотемпературних процесах вміст азоту в дифузійному шарі невеликий. Максимальне насичення поверхневого шару сталі досягається при різних температурах залежно від вмісту вуглецю в середовищі. Азот, дифундуючи в сталь разом з вуглецем, впливає на ступінь насичення вуглецем поверхневого шару на глибину дифузії вуглецю. Зазвичай процес насичення має дві стадії з різною кінетикою. На першому етапі сталь насичується азотом і вуглецем одночасно. На другому етапі, при продовженні насичення вуглецем, відбувається десорбція азоту, тобто перехід частини адсорбованих атомів азоту з поверхні металу в газове середовище. З підвищенням температури вміст вуглецю збільшується, а вміст азоту в дифузійному шарі зменшується. Низькотемпературне ціанування і нітроцементацию проводять при температурах 500-580°C. Процес азотування

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						22
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

при цих температурах протікає інтенсивніше, ніж процес цементації. Вуглець проникає на глибину, яка не перевищує кількох мікрон; в шарі цієї глибини формується тонка карбонитридна зона.

Твердість поверхні, термостійкість і спалахостійкість ціанідного шару майже такі ж, як і азотування. Тому низькотемпературне ціанування ефективніше азотування для інструментів, що працюють в умовах ударного навантаження. Його доцільно використовувати для штамів холодного штампування, волочильно-відрізних штамів, роликів і прокатних інструментів зі сталей типу Х6ВФ, Х12М та ін.; для штамів гарячої деформації зі сталей типу 4Х5МФС, 4Х4ВМФС та ін. Ціанування інструментів, як правило, проводиться після загартування і відпустки. Борування — процес дифузійного насичення бором поверхневих шарів деталей при нагріванні в середовищі, багатому на бор. З усіх видів хіміко-термічної обробки борування дозволяє отримати найвищу мікротвердість поверхні виробу. Борування можна проводити різними способами: в порошках, в газоподібних і рідких середовищах. При боридуванні в порошках як насичувач можна використовувати порошки різних борвмісних речовин: аморфного бору, карбиду бору, феробору, ферроборалю, нікельбору та їх суміші. Висока вартість боробагатих порошків і низька продуктивність обмежують використання цього методу, а також методу в газовому середовищі через вибуховість газової суміші.

Найбільш поширене рідинне електролітичне борування. Проводиться в борному розплаві або в суміші бору з кухонною сіллю. Активні атоми бору при електролітичному боридуванні утворюються при пропусканні електричного струму через розплав бору. Частини, насичені бором, підключаються до ланцюга електролізу як катоди; анодами зазвичай є графітові стрижні. Електролітичне борування проводять при температурах 900-980°C. Тривалість впливу 2-5 годин. Розточування доцільно використовувати для штамів, які працюють в умовах підвищеного зносу без ударних навантажень, мають відносно просту конфігурацію.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						23
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Зазвичай це сталі для холодного і гарячого деформування марок ХВГ, 9ХС, Х6ВФ, 7ХЗ, 5ХНМ і 4Х5МФС.

Після борування продукт піддають термічній обробці. Хромування робочих поверхонь матриць формозмінних штампів не тільки підвищує їх зносостійкість, але й сприяє зменшенню контактного тертя, завдяки чому покращуються умови пластичної деформації. Азотування і хромування забезпечують високу твердість деталей штампа, однак азотування створює якісно новий сплав у поверхневому шарі матриці, а хромування створює шар іншого металу на поверхні матриці. Електролітичне хромування застосовують для формозмінних штампів холодного і гарячого штампування, деталі яких піддаються інтенсивному зносу. При правильному застосуванні цього методу і при ретельно виконаній технології хромування довговічність деталей штампа збільшується в 3-4 рази, але найменше відхилення від технологічного процесу викликає повний вихід з ладу і, в першу чергу, відшарування хрому. плівкову матрицю з робочої поверхні. Твердість шару хрому можна отримати різними способами. Це залежить від температури ванни, щільності струму і складу електроліту. Зменшення щільності струму знижує твердість хромового покриття. Оптимальна твердість шару хрому становить 62-63 НРС. Підвищення твердості робочої поверхні до 70 НРС підвищує крихкість, а зменшення — значно знижує зносостійкість штампа.

Хромоване покриття не повинно брати пилку, і воно повинно бути блискучим. Хімічне нікелювання забезпечує високу зносостійкість, міцність зчеплення, антифрикційні властивості (легкість, низький коефіцієнт тертя, протизадирні якості), рівномірну товщину покриття. Нікель-фосфорні покриття застосовують для зміцнення поверхні поршнів, золотників, наконечників, стопорних пальців, роликів та інших важливих деталей, від яких значною мірою залежить надійність і довговічність різних гідравлічних, пневматичних, паливних та інших механізмів. Хімічне нікелювання форм має свої особливості.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						24
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

По-перше, під час попередньої підготовки поверхні необхідно ретельно очистити важкодоступні місця від забруднень; по-друге, термічну обробку покриттів на формах з інструментальної сталі необхідно проводити в два етапи:

1) неізотермічний нагрів зі швидкістю 400°C за 1 хв протягом 1-1,5 хв для того, щоб покриття зазнали структурних перетворень, що забезпечують необхідну твердість;

2) прогрівання протягом трьох-чотирьох годин при 200°C для підвищення адгезії покриття до основи. Підготовчі операції полягають у знежирюванні деталей в органічних розчинниках, а потім у лужному розчині та подальшій активації в 10% розчині HCl з проміжним промиванням у холодній і гарячій воді. Прес-форми після певного терміну експлуатації для відновлення необхідної товщини шару слід нікельувати без зняття колишнього покриття. Термін служби хімічно нікельованих форм в 2-3 рази вище, ніж у хромованих. Щоб уникнути прилипання до поверхні нікельованих гумових форм (при пресуванні гумових деталей) на матрицю і пуансон наносять силіконову мастило. Високошвидкісне напилення (HVOF) засноване на нагріванні частинок порошку та нанесенні їх зі швидкістю 2000 м/с на поверхню деталі. Частинки порошку переносяться на деталь за допомогою газового струменя і мають високу кінетичну енергію, яка при зіткненні з підкладкою перетворюється в теплову енергію. В якості напилених матеріалів використовуються різні металеві та металокерамічні порошки. Газополум'яне напилення полімерів — спосіб одержання тонкошарових покриттів — тонкостінних виробів шляхом нанесення на поверхню деталі або форми порошкоподібних полімерних композицій.

Наплавлення є одним з найефективніших методів реставрації штамтів. При правильно підбраному складі наплавленого металу цей метод дозволяє не тільки відновити інструмент, але і підвищити його проміжну стійкість. Найбільшого поширення набула ручна електродугова наплавка. Метал,

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						25
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

наплавлений електродами 1 групи, має низький вміст вуглецю і легуючих елементів, тому його твердість після наплавлення низька. Основні області застосування цих електродів - відновлення малонавантажених молотків і посадочних штампів. Метал, наплавлений електродами 2 групи, має підвищений вміст вуглецю і хрому. Твердість після наплавлення перевищує 50 HRC, тому накладені штампи відпалюють. Після закінчення процесу різання проводиться загартування з відпусткою.

Електроди другої групи застосовуються для відновлення середньонавантажених великих молоткових і пресових штампів.

Електроди третьої групи забезпечують отримання високолегованого наплавленого металевого шару з високим вмістом хрому. Основне призначення - зварювання ріжучих кромки різальних штампів.

Твердість штампів після наплавлення висока і необхідний їх відпал. Після обробки різанням ці штампи піддають загартуванню та відпуску. Наплавлений метал має підвищену стійкість при нагріванні.

Електроди 4 групи застосовуються виключно для наплавлення ділянок штампів, які мають високий ступінь зношування і не піддаються ударним навантаженням. Наплавлення виконується в один або два шари. Наплавлений метал не відсипається від термічного впливу, тому його можна обробляти виключно абразивним інструментом або електрофізичними методами.

Електроди групи 5 застосовуються для створення зварних ділянок штампів гарячої деформації різної конфігурації при необхідності підвищення їх стійкості. Електроди з підвищеним вмістом вольфраму мають склад, близький до сталі марки 3Х2В8Ф або марки Р18. Технологічний процес виготовлення наплавлених штампів включає підготовку заготовок, їх нагрівання до температури 300–600°C, наплавлення та повільне охолодження. Потім проводять відпал, різання і загартування з подальшою відпусткою.

Електроди групи 6 забезпечують отримання наплавленого металу з інтерметалічним зміцненням і високою термостійкістю. Рекомендована

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						26
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

технологія виготовлення штампу при використанні електродів групи 6 включає наплавлення, різання або шліфування, відпал. Електроди 6 групи застосовуються для наплавлення штампів об'ємного штампування і видавлювання жароміцних сталей і сплавів.

Сьогодні широко використовується плазмова металізація. Для її реалізації найчастіше використовують порошки сплавів на основі нікелю з додатковим вмістом вуглецю до 1%, а також леговані бором, хромом, кремнієм і алюмінієм. Після напилення щільність шару і міцність зчеплення з основним металом недостатні. Тому додаткове розплавлення напиленого шару проводять киснево-ацетиленовим полум'ям або в спеціальних печах. Після напилення інструмент піддається загартуванню і відпуску. Цю технологію доцільно використовувати для інструментів швидкісного штампування, гарячого пресування, прокатки тощо. Довговічність таких інструментів підвищується в 2-3 рази.

Сьогодні мікродугове оксидування є найперспективнішим методом порівняно з існуючими технологіями нанесення покриттів на алюмінієві та магнієві сплави. Це дає змогу отримати покриття з високими механічними, діелектричними та термостійкими властивостями. Зносостійкість покриттів, отриманих цим методом, перевищує всі існуючі матеріали, що застосовуються в сучасній техніці, навіть при такій же мікротвердості, як корунд.

### **2.3. Вплив термічної обробки на якість підвищення зносостійкості пар тертя.**

При виготовленні штампів застосовують об'ємне і поверхневе зміцнення. Поверхневе (індукційне) гартування порівняно з об'ємним має низку переваг: висока продуктивність, отримання вищих механічних властивостей зміцнених поверхонь, практично повна відсутність окислення та забруднення поверхні

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						27
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

вуглецем, мінімальна деформація деталі, утворення значних стискаючих напруг у поверхні. поверхневі шари, що підвищують втомну міцність деталей, їхню зносостійкість тощо.

Недоліком високочастотного зміцнення є необхідність виготовлення індукторів для кожної деталі, тому цей метод ефективний в умовах масового виробництва. Для отримання високих механічних і експлуатаційних властивостей деталей рекомендується застосовувати попередню нормалізацію або поліпшення, а також забезпечити достатню товщину і міцність перехідної зони, включаючи зони неповного зміцнення і відпускання.

Найбільш ефективно додаткове зміцнення за допомогою СВЧ-нагріву виправдано в тих випадках, коли потрібна дуже висока міцність і зносостійкість поверхневого шару при достатній міцності основи штампа. Після звичайної термічної обробки штамп, який має твердість 36-42 HRC, може бути підданий додатковому зміцненню в найбільш схильних до зношування ділянках гравіювання. Для цього ці ділянки нагріваються за допомогою індукторів, а зміцнення забезпечується інтенсивним відведенням тепла в тіло штампа. Відпустку після такого загартування проводять тільки в тому випадку, якщо в процесі експлуатації відшаровується загартований поверхневий шар. Підвищення твердості окремих частин штампа знижує його схильність до крихкого руйнування. Тому додаткове зміцнення слід застосовувати тільки для тих штампів, руйнування яких пов'язане виключно з пластичною деформацією або зносом.

Мікрохвильовий нагрів можна використовувати не тільки для зміцнення, але і для локальної релаксації затверділих штампів. Найбільш раціональним є метод локального відпуски з постійним опаленням.

На рис. 2.2 показано обладнання, що використовується для відпуску місцевої марки. У внутрішній індуктор 4 встановлюють штемпельну вставку або вставку 3 із зазором 5–10 мм. Потім на гравіювання закладного штампа встановлюють холодильник 1, який являє собою систему розгалужених мідних

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						28
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

трубок, по яких циркулює вода. Вільний простір між трубками і гравіюванням заповнено металевим піском 2 для кращого теплообміну від гравіювання до холодильника. Бічна поверхня і основа штампа нагріваються до температури нижче критичної точки  $A_{c1}$ . Після такої відпустки тіло штампа має підвищену міцність і високу стійкість до крихкого руйнування, а поверхневий шар, який межує з гравіюванням, залишається загартованим, зберігаючи високу твердість.

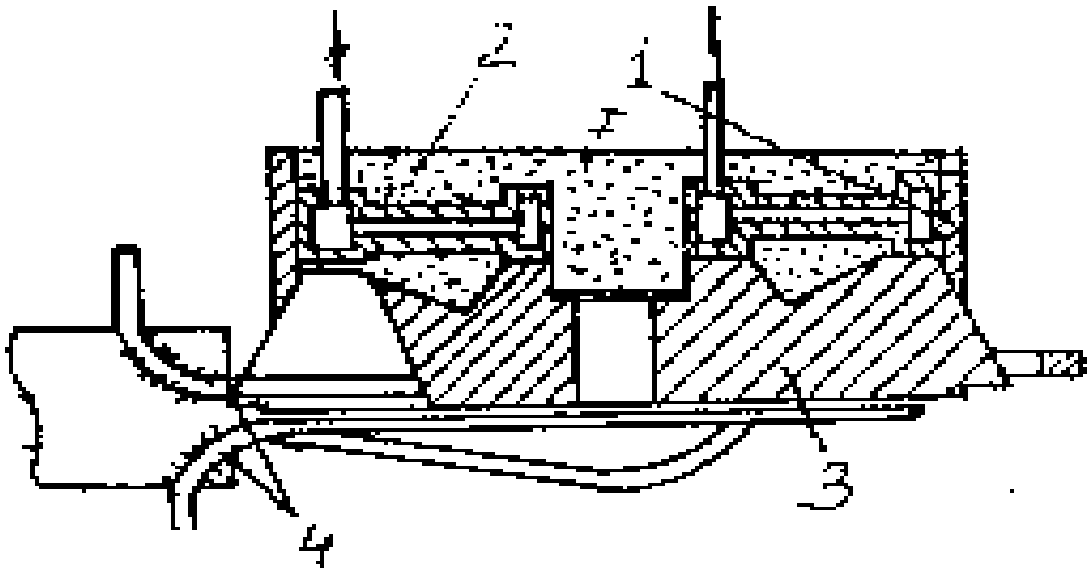


Рис. 2.2. Підготовка марки до відпустки за допомогою підігріву

Локальну релаксацію можна здійснювати і при циклічному нагріванні, тобто послідовному включенні струму в індукторі. Локальна релаксація в режимі термоциклування забезпечує вищий рівень твердості в центрі вставки та поблизу гравіювання порівняно з безперервним нагріванням.

Використання оптимальних режимів місцевого відпустки дозволяє підвищити зносостійкість штампів від 4 до 6 разів.

#### **2.4. Підвищення зносостійкості деталей за допомогою струму високої частоти**

Висока зносостійкість забезпечується на етапах проектування та виготовлення за рахунок правильного вибору матеріалу та методів зміцнення. Цю властивість можна підвищити при відновленні після зносу до номінальних розмірів наплавленням сплавами типу Сорміт, Вокар, ВК-3. Ці сплави містять залізо, хром, кобальт, нікель, вольфрам і молібден. Для їх застосування ефективно використовувати плазмові осадження порошків, що дозволяє створити тонкий шар з відмінною зварюваністю і мінімальним змішуванням в перехідному шарі між основним і наплавленим металом.

Для обробки твердих сплавів можна використовувати інструменти з надтвердого матеріалу Белмор на основі кубічного нітриду бору. Цей матеріал має твердість, порівнянну з алмазом, і хімічно інертний до заліза, що дозволяє використовувати його для обробки будь-яких сплавів.

Серед методів підвищення зносостійкості без зміни розмірів можна відзначити поверхневе зміцнення струмами високої частоти (СВЧ). Під час цього процесу деталь нагрівається за рахунок вихрових струмів, коли по ній переміщують мідний індуктор з підведеною до нього мікрохвильовою піччю. Цей процес може бути автоматизований і дозволяє отримати необхідну глибину зміцненого шару практично без деформації деталі та окалини. Загартування в мікрохвильовій печі є особливо корисним для передач, оскільки забезпечує тверду зносостійку поверхню та м'який сердечник.

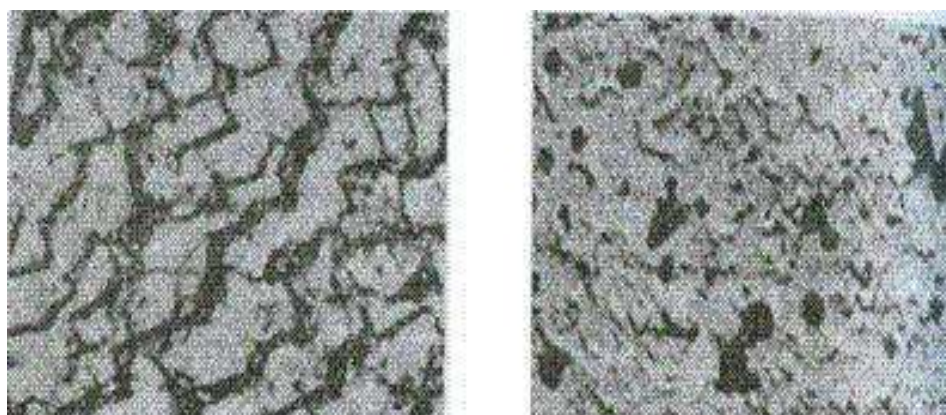
## **2.5. Підвищення зносостійкості деталей машин методом локального зміцнення**

У процесі локального зміцнення (обробка ЛОУ) відбувається пластична деформація матеріалів з подрібненням мозаїчних блоків і збільшенням щільності дислокацій. При цьому ковзання відбувається по кристалографічних площинах не шляхом одночасного зміщення окремих атомних площин, а в результаті окремих елементарних актів, які полягають в однотипних

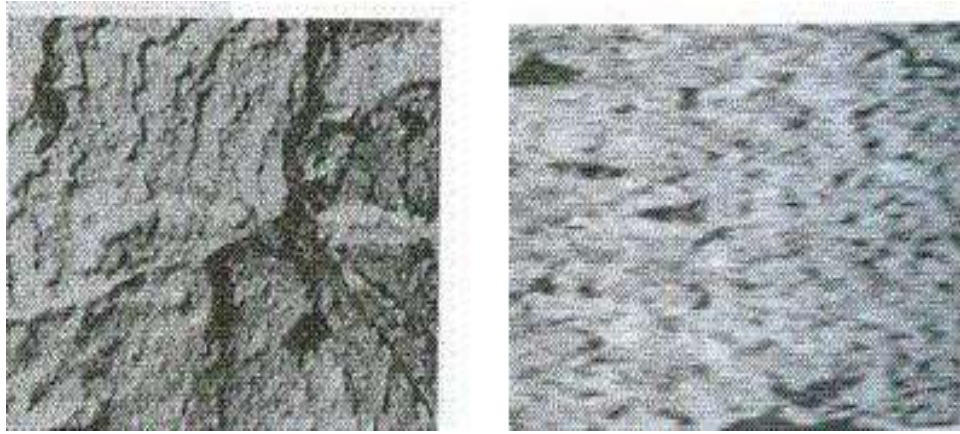
					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						30
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

переміщеннях групи атомів і поширюються в певних напрямках кристалографічної решітки. . В основі цього механізму лежить те, що внаслідок періодичності будови кристалів зміщення атомів біля одного з вузлів решітки, отримане в результаті дії зовнішніх сил, викликає полегшення таких самих зсувів. (рухи) атомів поблизу сусідніх вузлів.

Цей послідовний процес руху атомів здатний поширюватися в певних енергетично вигідних напрямках на значні відстані, якщо зберігається правильна періодичність руху дислокацій на всьому шляху. Рух дислокацій припиняється, якщо на шляху їх руху виникають порушення правильної кристалічної структури - меж зерен, блоків або потоків вільних електронів. Наявні експериментальні дані про зв'язок зміцнення з тонкокристалічною структурою металів і сплавів [22, 24] дозволяють зробити висновок, що необхідним і найважливішим кристалоструктурним фактором зміцнення металів і сплавів є дроблення зерна на фрагментів і утворення субмікроскопічної блокової структури всередині фрагментів. Неоднорідна пружна деформація мікрообластей відображає лише властивості кристалів цього матеріалу. Водночас він характеризує як би «межу» пружної деформації мікрообластей. На рис. 2.3 наведено зображення мікроструктури Argon-Gallose при різних ступенях деформації в процесі ЛОУ обробки ШСУ.



*і б*



*в*

Рис. 2.3. Зміни структури при різних ступенях деформації в процесі обробки ЛОУ:

*і, в* – внутрішня зерниста структура відпаленого армкозаліза;

*б*– при деформації 20%; *д* - при деформації 30%

Наявність фрагментації блоків при низьких напруженнях під час деформації вказує на те, що дефекти кристалічної решітки, відповідно, зумовлюють підвищення ймовірності виникнення актів пластичної деформації. Ці акти пластичної деформації призводять до порушення когерентності спочатку існуючого великого блоку. Дроблення блоків на більші ділянки при невеликих відносних деформаціях (6-7%), ймовірно, пов'язано з відносно довгими шляхами переміщення дислокацій до зупинки під дією якогось дефекту кристалічної решітки, кількість якого в відпаленому матеріалі невелика, або межі зерен.

## 2.6. Підвищення зносостійкості пари тертя в процесі вибіркового перенесення

Підвищення зносостійкості пари тертя в режимі селективного перенесення

відбувається за рахунок того, що частинки зносу не залишають зону тертя. Вони взаємодіють з мастилом, утворюючи суспензію, при її руйнуванні на парі тертя утворюється шар міді. У встановленому режимі процеси утворення суспензії та її руйнування знаходяться в динамічній рівновазі. Наявність відновних процесів при терті в середовищі гліцерину доведено в роботі [29], де показано, що при терті міді і заліза їх зв'язок відновлюється до вільних міді і заліза. Відновниками заліза і міді служать як активні метали, так і продукти механохімічних і термохімічних перетворень гліцерину (наприклад, альдегіди). У зоні фрикційного контакту хімічні перетворення гліцерину призводять до утворення як низько-, так і високомолекулярних органічних сполук — спиртів, альдегідів, кетонів, карбонових кислот.

Характерною особливістю селективного переносу є хімічні процеси (хемосорбція, активована тертям), що викликають селективне розчинення атомів легуючих елементів сплаву і пов'язану з цим пластифікацію аж до квазіплавлення шару на глибину до 1 мкм [31]. Рентгенівські дослідження поверхневих шарів міді показали, що структурні зміни міді відбуваються переважно в найтонших поверхневих шарах (товщиною близько 1-2 мкм). Ці дослідження [32] показують, що при терті міді та латуні об сталь у середовищі гліцерину на поверхні деталі утворюється тонкий шар металу, період кристалічної решітки якого менший за період вихідного металу.

Встановлено, що в процесі тертя в режимі вибіркового перенесення на поверхні сплаву на основі міді утворюється тонка плівка міді, яка містить мінімальну кількість структурних недосконалостей, таких як дислокації, і величезну кількість точкових дефекти – вакансії, тобто знаходиться в «розсіпаному» стані.

## **2.7. Підвищення зносостійкості пар тертя за допомогою поверхнево-пластичного деформування**

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						33
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Пластична деформація поверхні підвищує міцність деталі і підвищує чистоту її поверхні, що дозволяє в ряді випадків відмовитися від застосування додаткових обробних операцій. Дробеструминне очищення проводять на спеціальних установках сталевим або чавунним дробом діаметром 0,4–2 мм. У таких установках фракція з великою швидкістю (50–70 м/с) спрямовується до поверхні, що обробляється, створюючи в ній напруги стиску, що досягають кількох десятків кілограмів на 1 мм<sup>2</sup>. Таку обробку найчастіше використовують для підвищення втомної міцності та зміцнення деталей із сталі, що пройшли термічну обробку, що працюють при змінних навантаженнях.

До таких деталей відносяться пружини, спіральні пружини, шестерні, шатуни, молотки, щоки каменедробарки та ін. Після дробеструйної обробки ресурс листових ресор збільшується в 4–6 разів, а дрібномодульних зубів шестерень – у 2,5–3 рази. Глибина клепаного шару, яка зазвичай не перевищує 1 мм, залежить для даної деталі від тривалості обробки (від 5-10 с до 2-3 хвилин), сили удару, розміру і кута падіння пострілу (найбільше наклеп спостерігається при куті 75-90° З). Поверхнева накатка за допомогою загартованих роликів є ефективним засобом зміцнення великих деталей, що мають форму тіл обертання. Накатка покращує мікрогеометрію поверхні і створює зміцнений клепаный шар, що призводить до підвищення межі втоми і зносостійкості деталей. Накатка виконується вільно обертовими роликами, які приводяться в контакт з обертовою частиною, встановленою в токарному верстаті. Ролик на станині закріплюється в супорті верстата або спеціальному пристрої.

Зміцнення тисненням застосовують для значного локального наклепування ділянок поверхні деталей з високою концентрацією напружень (каналок, місць виходу отворів, шліців, зварних швів тощо). Різьблення виконується

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						34
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

спеціальними молотками, роликками, кульками шляхом ударів по зміцнюваній поверхні.

## 2.8. Спосіб зміцнення і підвищення змащувальної здатності валів

Відомий спосіб виготовлення поверхні тертя з системою безперервних пересічних мікроканалов змінної глибини, виконаних під змінним кутом до осі деталі, що підвищує несучу здатність масляного шару [а.с. СРСР №1203255, F16C17/02. , 1986]. Недоліком даної поверхні тертя є можливість перетікання мастила із зони високого тиску в зону низького тиску через безперервність каналів. Також не враховано зниження несучої здатності мастила внаслідок перепадів тиску через порушення гладкості робочої поверхні втулки. Стереометрична структура поверхні після чистових операцій обробки різанням, як правило, має випадковий характер і призводить до нестабільності умов контакту та нестационарного зношування пари тертя в процесі експлуатації.

Відомий також спосіб створення на робочій поверхні фрикційної деталі дискретно орієнтованої структури у вигляді некруглих отворів, розташованих у шаховому порядку, глибиною, що дорівнює допустимому зносу деталі. Цей спосіб характеризується спрощенням конструкції, підвищенням ефективності і міцності [а.с. СРСР № 1763741, F16C17/02, 33/10, 1992]. Недоліком цієї поверхні тертя є відносно низька зносостійкість за рахунок виготовлення на свердлильному верстаті мікрорельєфу у вигляді отворів, які створюють на поверхні концентратори напруги. Внаслідок деформації каналов на всю глибину, що відбувається в результаті роботи в робочих поверхнях, роль каналов втрачає своє значення і збільшується знос пари.

В іншому способі мастильні канали формують у вигляді параболічних синусоїд з непересічними осями. Площа, яку займають канали, становить не більше 40% площі робочої поверхні. Цей спосіб дозволяє підвищити

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						35
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

зносостійкість пар тертя з високотвердих і крихких матеріалів [акт. СРСР № 1784078, F16C33/14, 1992]. Недоліком даного способу створення поверхні тертя є відсутність оптимального підбору геометрії дискретно орієнтованого мікрорельєфу та його профілю, які забезпечують сприятливий баланс триботехнічних властивостей антифрикційної поверхні, а також складність виготовлення мікрорельєфу, використання дорогого лазерного обладнання та фахівців з його управління.

Удосконалення способу виготовлення поверхонь тертя досягається підбором оптимальних геометричних параметрів мікрорельєфу, що визначаються фізико-механічними властивостями матеріалів пари тертя та фізико-хімічними умовами роботи (середовище, температура, тиск), які дозволяє забезпечити технічний результат - підвищення коефіцієнта корисної дії та довговічності виробів за рахунок підвищення триботехнічних властивостей деталей і вузлів у парах тертя: при граничному терті - підвищення задиристості та зносостійкості, при гідродинамічній - збільшення несучої здатності мастильного шару.

Спосіб включає формування мікрорельєфу на робочих поверхнях, який відрізняється тим, що формування мікрорельєфу дискретно орієнтованої структури робочої поверхні у вигляді напівеліпсоїдних отворів здійснюється методом вібраційної прокатки з щільністю нанесення отворів  $\Psi=0,15-0,30$ , при цьому крок між отворами вибирають із співвідношення ширини канавки і щільності в межах  $(0,3-0,4)/\Psi$  з кутом нахилу поверхні отвору до поверхні. частини в напрямку руху 1-2. У способі виготовлення поверхонь тертя деталей використовується співвідношення геометричних розмірів мікрорельєфу і щільності його нанесення, найбільш вигідне при навантаженні тертям. Вибір геометричних параметрів залежить від матеріалу пари тертя і умов експлуатації виробів. Вибір щільності дискретного рельєфу і глибини отворів залежить від зміни відносної опорної довжини профілю деталей, що визначається діапазоном експлуатаційних питомих навантажень. Підбір кроку

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						36
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

і ширини отворів враховує найбільш небезпечний з точки зору виникнення заклинювання режим роботи з'єднання.

Суть способу отримання поверхні тертя з дискретно орієнтованим мікрорельєфом методом вібраційного кочення поверхні пояснюється кресленнями, де на рис. 2.4 зображено загальний вигляд і розріз поверхні з мікрорельєфом у вигляді напів-еліпсоїдні отвори, а рис. 2.5 - виготовлений зразок з дискретним рельєфом.

На рис. 2.4 показано: отвори - 1 і поверхня - 2. Крок між отворами -  $a$  дорівнює відстані між центрами еліпсів на поверхні вздовж малої осі еліпса,  $b$  - півширина мала вісь еліпса,  $c$  — напівширина великої осі еліпса. Глибина отвору -  $d$  дорівнює довжині отвору від поверхні до внутрішньої сторони основи. Кут нахилу поверхні отвору до поверхні деталі  $\gamma$  дорівнює куту між дотичною до еліпсоїда вздовж великої осі та напрямком великої осі на поверхні деталі. Щільність отворів пов'язана з геометричними параметрами отворів залежністю:

$$\Psi = \frac{\pi \cdot b}{4a}$$

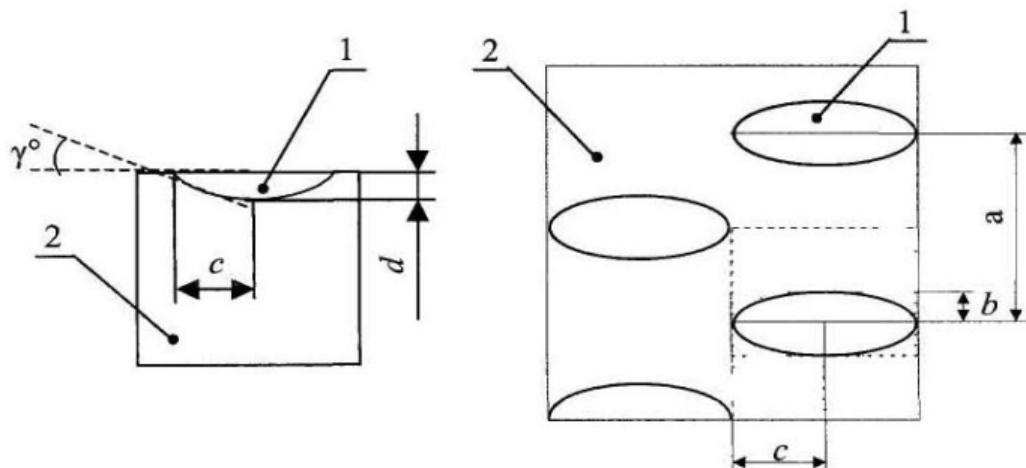


Рис. 2.4

Спосіб виконується так: деталь залежно від її форми (плоска, циліндрична) закріплюють у пристрої, що надає їй необхідну швидкість і напрямок руху (координатний стіл, токарний верстат). Інструмент у вигляді молотка з

алмазною гладдю встановлюють з натягом, який відповідає розрахунковій глибині отвору на поверхні деталі. Амплітуда і частота віброінструмента встановлюються відповідно до розрахункових значень кроку і ширини отвору. Ряди отворів зі зсувом наносяться послідовно, наприклад, в шаховому порядку. Цей спосіб дозволяє створити зовнішню поверхню тертя деталі будь-якої форми, а також внутрішню циліндричну діаметром не менше 16 мм. При цьому матеріал з отворів не видаляється, а поверхня в місцях нанесення отворів зміцнюється.

Запропоноване конструктивне виконання отворів на робочій поверхні тертя деталей зі сталі або кольорових металів дозволяє зберегти їх конструкційну міцність. Формування поверхні з регулярними геометричними характеристиками дозволяє провести аналітичний розрахунок параметрів, що визначають експлуатаційні властивості поверхні (масломісткість, опорна поверхня, кількість точок контакту) з метою отримання оптимальних триботехнічних властивостей поверхні тертя. Створення поверхні деталі дискретно орієнтованої рельєфної структури з отворів у формі напівеліпсоїда, заповнених антифрикційним матеріалом (мастильним матеріалом або мастильною композицією, твердим мастильним матеріалом, полімеризуючою пластмасою) і орієнтованих у напрямку переміщення деформуючого елемента, зменшує абразивний знос за рахунок видалення абразивних частинок із зони тертя в отворах. Створюються сприятливі умови для появи «третього тіла», яке не виноситься із зони контакту, а закріплюється в отворах дискретного шару, зменшуючи тертя і знос. В процесі роботи пар тертя відбувається безперервна подача антифрикційного матеріалу з отворів в зону тертя, підвищуючи властивості робочої поверхні в період чистової обробки. Однією з умов формування гідродинамічного режиму змащення є наявність звужувального зазору, який називають клином. Особливість орієнтації отворів із змінною зміною глибини профілю в межах 1-2° від поверхні, а також оптимальна щільність їх закладання забезпечують умови для формування

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						38
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

додаткового гідродинамічного міні-клина в розташування отворів за рахунок зміни тиску мастила по довжині отвору, інтегрально збільшуючи загальну несучу здатність мастильного шару.

Приклад: Проведено порівняльні випробування деталей з алюмінієвого сплаву АК6 за ГОСТ 4784-97.

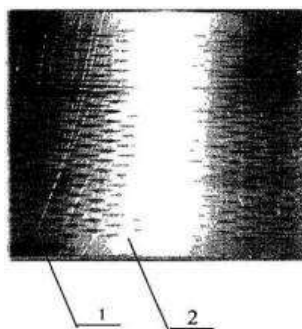


Рис. 2.5

Виготовлені зразки з дискретним рельєфом (див. рис. 2.5), а також контрольні зразки без рельєфу, оброблені мастилом XF 12-16 згідно з ГОСТ 5546-86, випробовували на спеціальному стенді протягом 80 годин в тих же умовах з поступове збільшення навантаження. Як контртіло використано сталь 45 за ГОСТ 1050-88. Окремі рельєфні деталі показали бездоганне під час тестування, тоді як контрольні деталі показали заїдання та заїдання, що вказує на порушення антифрикційної дії робочої поверхні. Результати порівняльних випробувань підтвердили ефективність методу формування поверхонь тертя на зразках з нанесеним дискретним мікрорельєфом у вигляді напівеліпсоїдних отворів і підтвердили високі антифрикційні властивості поверхні при ковзанні.

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАР ТЕРТЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ЗМІЦНЕННЯ ВАЛІВ РОЛИКАМИ.

Сучасні методи зміцнення поверхневих шарів, які в більшості випадків визначають експлуатаційні характеристики деталей машин, включають різні прийоми, такі як хіміко-термічна обробка, мікрохвильове зміцнення, лазерна обробка та ін. У масовому виробництві для зміцнення широко використовується роликів прокатка поверхневих шарів деталей машин. У процесі обкатки найчастіше використовують сферичні або тороїдальні ролики. При більших кутах вдавнення ролика в напрямку його подачі на обкатаній поверхні деталі можуть з'явитися хвилястість з кроком, відмінним від величини подачі. На рис. 3.1 показана обкатка вала зі сталі 40 діаметром 50 мм за допомогою спеціального пристрою.

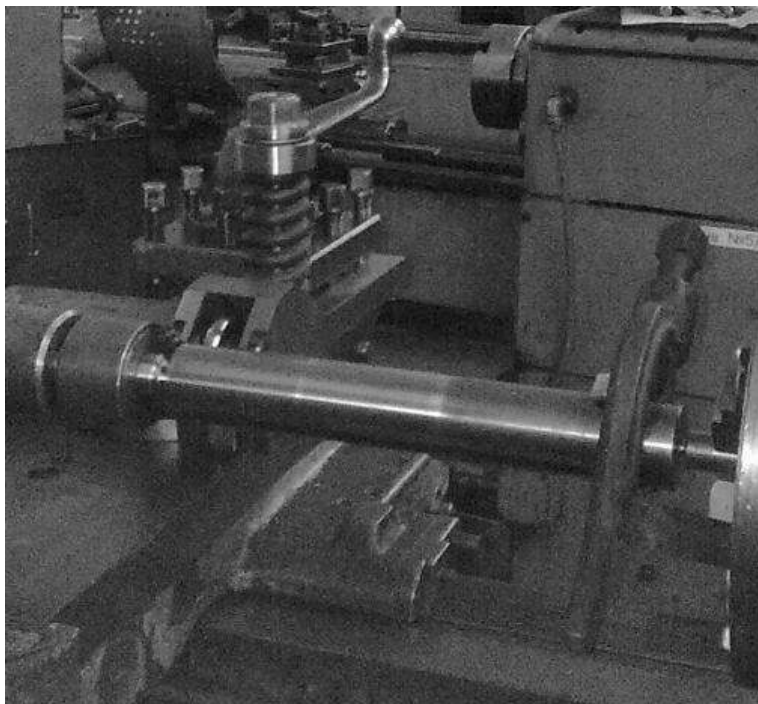


Рис. 3.1. Обкатка вала з роликом на верстаті 1К62

Вал закріплювався в центрах і патроні, а пристрій затискалося в обоймі верстата. Обкатку проводили у двох режимах: очищення – із зусиллям обкатки

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						40
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

0,75 кН та зміцнення – із зусиллям 3 кН. Зусилля підбирали за номограмою [13] і регулювали стисненням пружини приладу. Обкатку проводили з частотою обертання деталі 315 об/хв і подачею 0,07 мм/об. Перед обкаткою вал змащували індустріальним маслом типу І-20.

Після обкатки вал розрізали на зразки шириною 11 мм. Перед поліруванням по периметру зразка наливали самотвердіючий пластик «ПРОТАКРИЛ-М», щоб уникнути обрізання торців під час полірування (див. рис. 3.2).

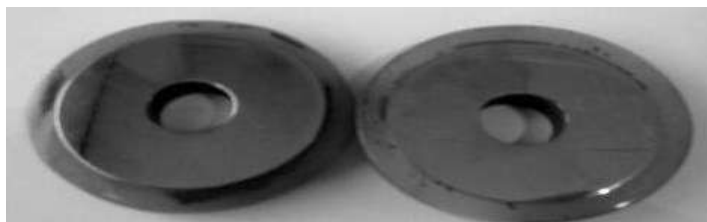
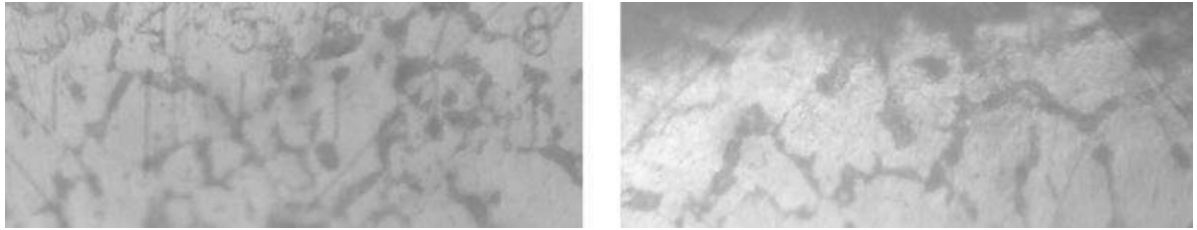


Рис. 3.2. Зразки для дослідження мікротвердості

Мікроструктура досліджуваного зразка показана на наступному малюнку. 3.3. Перед вимірюванням мікротвердості сталь змащували 3% розчином азотної кислоти для виявлення структури.



*і*б

Рис. 3.3. Мікроструктура поверхневого шару валу зі сталі 50:

*і*– до обкатки; б – після обкатки

Після обкатки валу зі сталі 40, як видно на рис. 3.3, можна спостерігати витягування зерен фериту і перліту в напрямку подачі ролика. Мікротвердість вимірювали приладом ПМТ-3 на глибині 0,2 мм. Зображення відбитків мікротвердості показано на рис. 3.4. На екрані монітора можна збільшити зображення, налаштувати яскравість і різкість. Це особливо важливо для матеріалів з неоднорідною мікроструктурою.



Рис. 3.4. Вимірювання відбитків мікротвердості приладом ПМТ-3 (×500)

За результатами вимірювання мікротвердості побудовано графіки (рис. 3.5).

Глибина загартованого шару, закатаного зусиллям 3 кН, становить 2-2,7 мм, а вала, закатаного зусиллям 0,75 кН, 1-1,5 мм.

Глибина наклепу визначається формулою

$$t = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_m}},$$

де P - зусилля при обкатці;

$\sigma_t$  – межа текучості матеріалу.

Твердість на глибині починає досить різко знижуватися, що свідчить про малу ширину перехідної зони.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						43
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

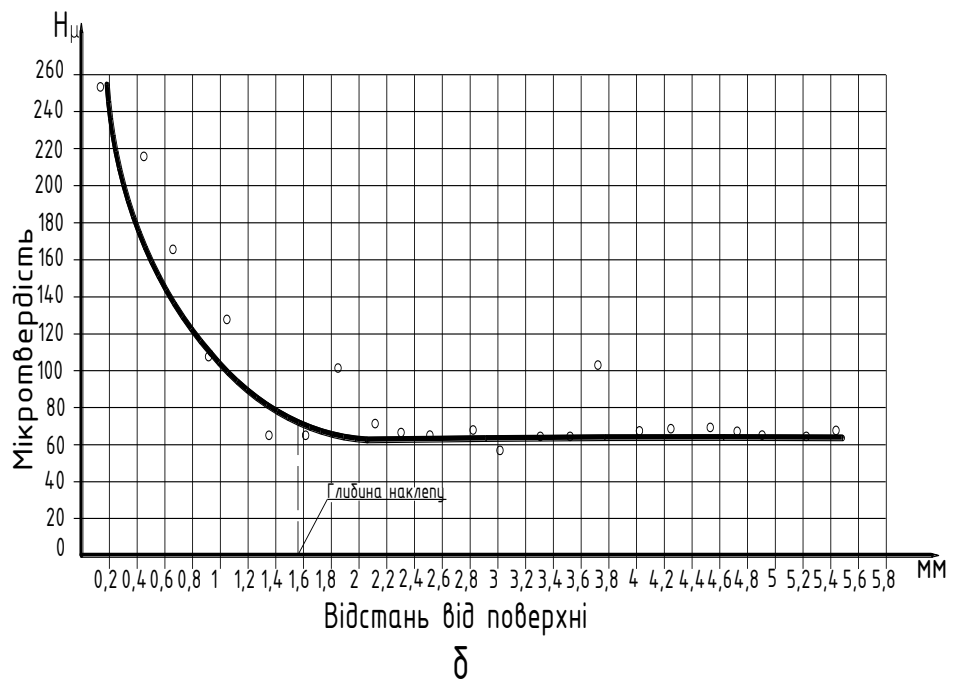
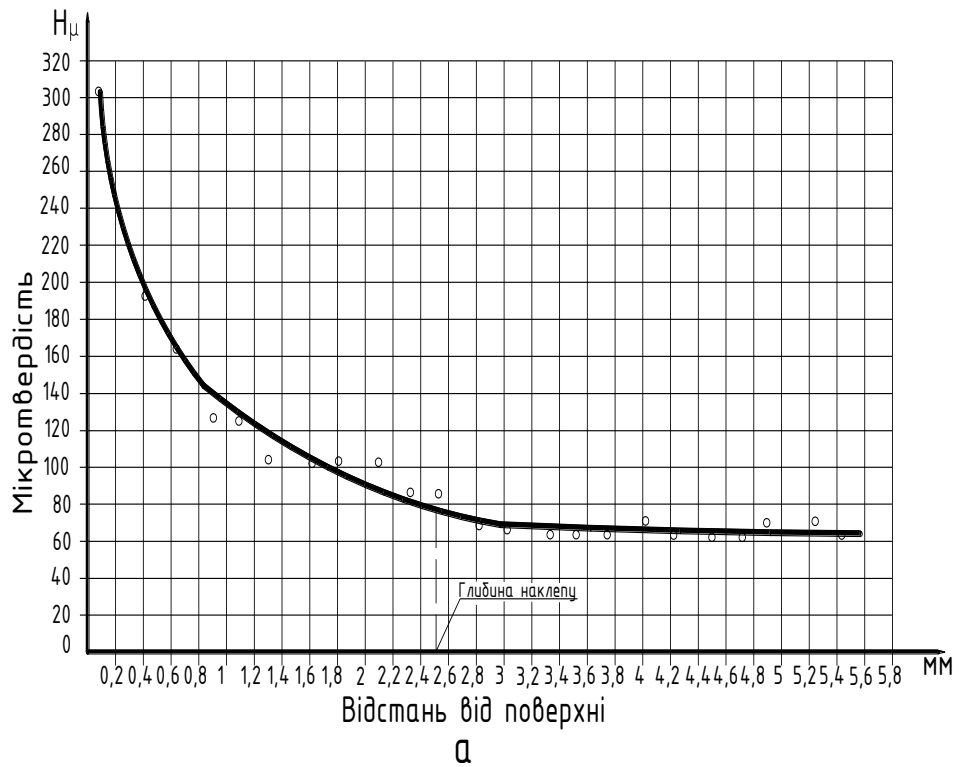


Рис. 3.5. Зміна мікротвердості в залежності від глибини:

*i*– в обкатку зразка силою 3 кН;

*b*– в обкатку зразка силою 0,75 кН

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

На рисунках 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 наведено профілограми поверхні зразків, які були відібрані після шляху тертя 20 000 і 40 000 м.

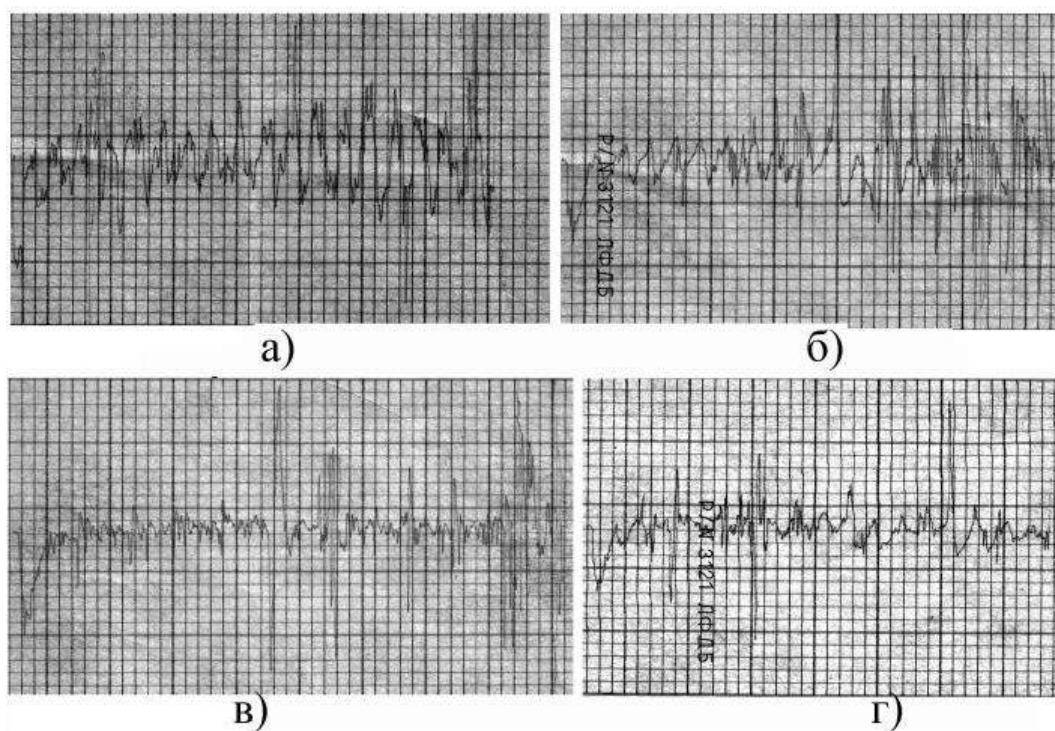


Рис. 3.6. Профілограми, зроблені після шляху тертя 20 000 м (вертикально  $\times$  1000, горизонтально  $\times$  10):  
а – обкатка зразка силою 3 кН; б – полірований зразок; в – обкатка зразка силою 0,75 кН; г – обкатка зразка силою 3 кН.

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

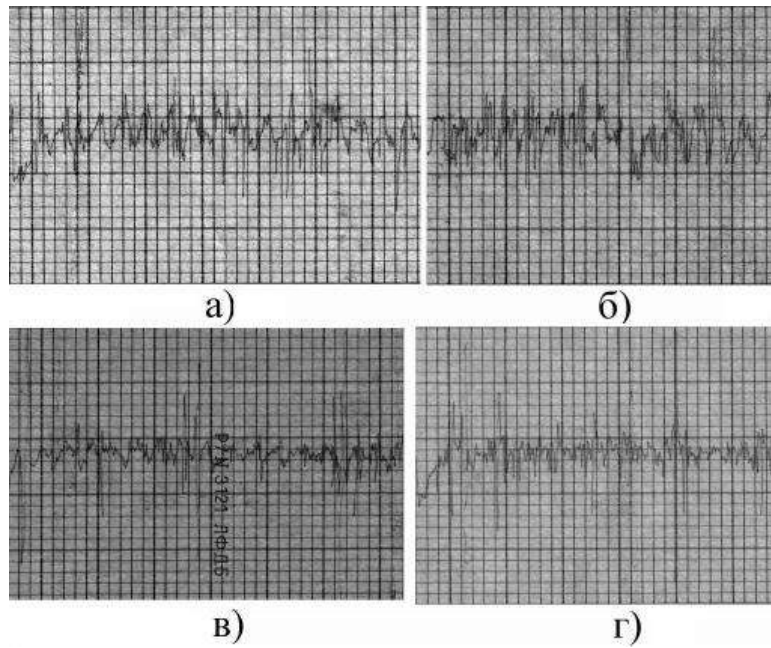


Рис. 3.7. Профілограми, зроблені після шляху тертя 40 000 м (вертикально  $\times$  1000, горизонтально  $\times$  10):  
 і – обкатка зразка силою 3 кН; б – полірований зразок; в – обкатка зразка силою 0,75 кН; г – обкатка зразка силою 3 кН.

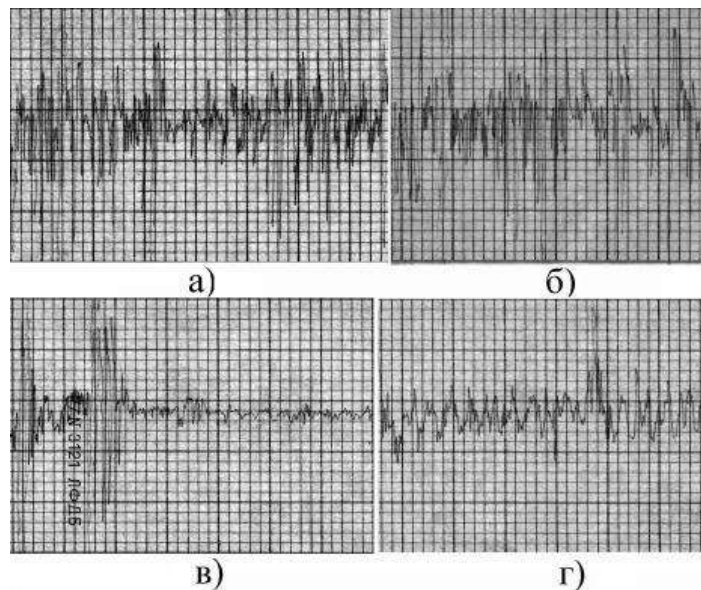


Рис. 3.8. Профілограми, зроблені після шляху тертя 20 000 м (вертикально  $\times$  1000, горизонтально  $\times$  10):  
 і – зразок, що працює в парі з обкаткою вала із зусиллям 3 кН; б – зразок, що працює в парі з валом; в – зразок, що працює в парі з обкаткою вала з навантаженням 0,75 кН після повороту; г – зразок, що працює в парі з обкаткою вала з навантаженням 3 кН після повороту

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

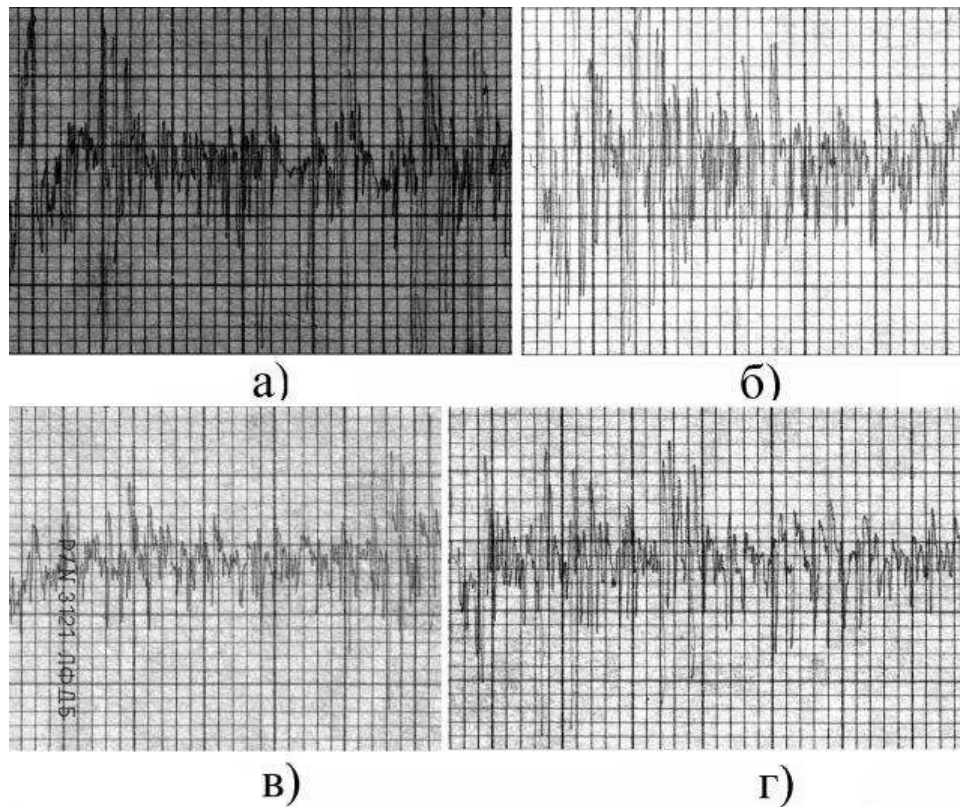


Рис. 3.9. Профілограми зразків бронзи, відібраних після шляху тертя 40 000 м:  
 а) – зразок, що працює в парі з обкаткою вала з навантаженням 3 кН після шліфування; б) – зразок, що працює в парі з валом; в) – зразок, що працює в парі з обкаткою вала з навантаженням 0,75 кН; г) – зразок, що працює в парі з обкаткою вала із зусиллям 3 кН після повороту

За профілограмою шорсткість поверхні обкатаного вала менша за шорсткість шліфованої поверхні, що сприяє швидшій приробці деталей. У всіх випадках на поверхні вкладишів утворюється новий рельєф. У таблиці наведені параметри шорсткості зразків сталі та бронзи, які були вказані на вищенаведених малюнках, після шляху тертя 20 000 та 40 000 метрів.

Таблиця 3.1

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						47
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

## Параметри шорсткості поверхні дослідних зразків

Зразок	$R_a$ , мкм	$n^*$	$H_{max}$ *, мкм	$H_{min}$ , мкм	$tp^*$ , %
1	2	3	4	5	6
Зразки сталі					
Після шляху тертя 20 000 м					
Зразок, обкатаний силою 3 кН	0,28 ... 0,29	5 ... 7	5.31	6.7	91.1 2
Полірований зразок	0,44 .... 0,45	6 ... 8	7.41	8.11	57
Обкатка зразка силою 0,75 кН (режим очищення)	0,16 ... 0,20	3 ... 4	4.81	3.12	97
Обкатка зразка зусиллям 3 кН (режим зміцнення)	0,18 ... 0,25	5 ... 6	4.71	2.55	98
Після шляху тертя 40 000 м					
Зразок, обкатаний силою 3 кН	0,20 ... 0,21	5 ... 8	5.23	1.9	95
Полірований зразок	0,27 ... 0,28	10 ... 12	7,99	4.87	56
Обкатка зразка силою 0,75 кН (режим очищення)	0,16 ... 0,21	13	2.33	8.11	97
Обкатка зразка зусиллям 3 кН (режим зміцнення)	0,17 ... 0,22	3 ... 5	2.88	1.33	97,6
Зразки бронзи					
Після шляху тертя 20 000 м					
Вставка робоча з обкаткою зразка з навантаженням 3 кН після шліфування	0,5 ... 0,51	11 ... 14	4,97	6.76	84

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата



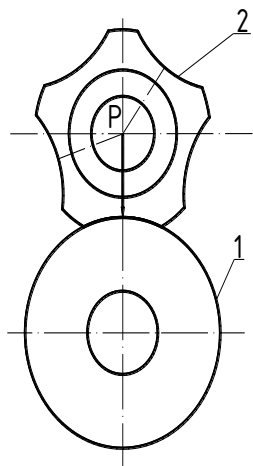


Рис. 3.10. Схема завантаження зразка:

1 – зразок сталі (сталь 40); 2 – зразок олов'яної бронзи (бронза Бр. ОЦС 8–21)

Сталеві зразки обробляли чотирма способами: полірували (шорсткість поверхні  $R_a = 0,25$  мкм); прокатаний роликом в чистовому режимі при зусиллі  $P = 0,75$  кН після точіння (шорсткість поверхні  $R_a = 0,15$  мкм); прокатаний роликом з режимом зміцнення при  $P = 3$  кН після шліфування (шорсткість поверхні  $R_a = 0,12$  мкм); і прокатаний роликом з режимом зміцнення при  $P = 3$  кН після точіння (шорсткість поверхні  $R_a = 0,17$  мкм). Поверхня вкладишів (гільз) після розточування мала шорсткість  $R_a = 0,36$  мкм. Випробування пар тертя проводили при номінальному питомому навантаженні 5 МПа та окружній швидкості 79 м/хв; зразки були рясно змащені моторним маслом Castrol Magnates 10W-40. На рис. 3.11 і 3.12 наведено графіки залежності зносу зразків бронзи і сталі від шляху тертя. Під час випробувань зразки зважували кожні 1000 метрів шляху тертя на аналітичних вагах ВЛР-200. Випробовували 16 пар зразків, а потім по чотири пари для кожного варіанту обробки.

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

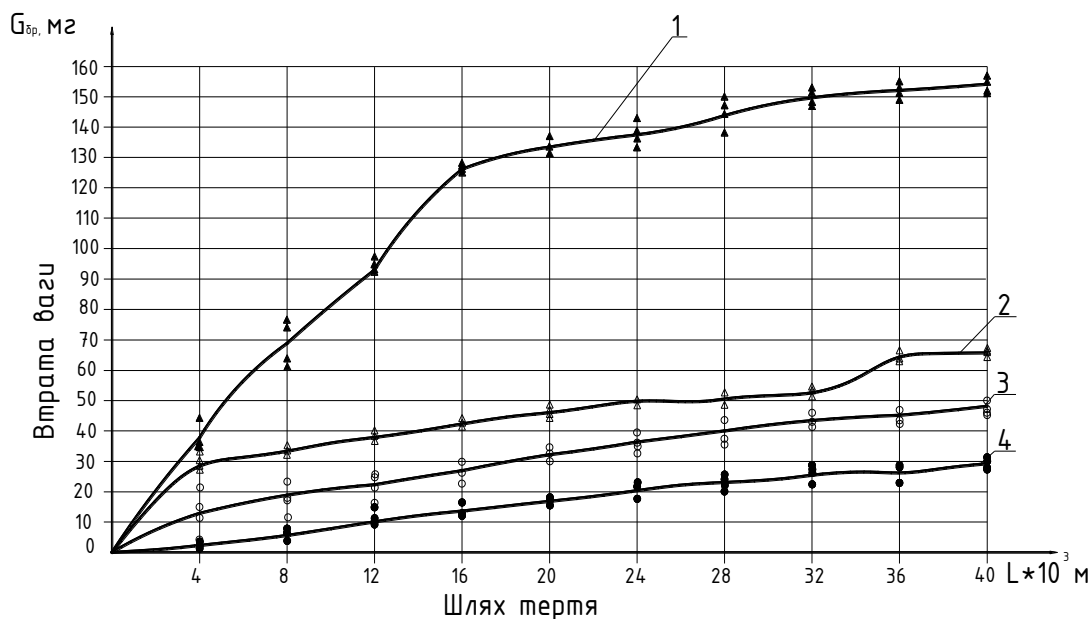


Рис. 3.11. Графік зносу бронзових вкладишів:

1 – бронзова вставка, спарена з деревком; 2 – бронзова вставка в парі з іншим валом, обкатана зусиллям 0,75 кН; 3 – бронзовий вкладиш у парі з обкаткою вала під навантаженням 3 кН після шліфування; 4 – бронзова вставка в парі з обкаткою вала під навантаженням 3 кН після повороту.

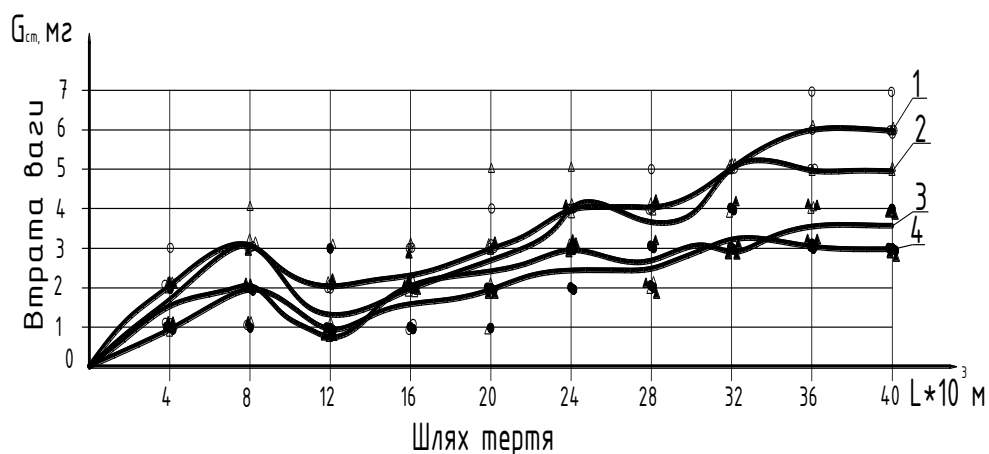


Рис. 3.12. Графік зносу зразків сталі (сталь 40):

1 – зразок сталі після шліфування; 2 – обкатка зразка під навантаженням 0,75 кН після повороту; 3 – обкатка зразка під навантаженням 3 кН після процесу шліфування; 4 – обкатка зразка під навантаженням 3 кН після повороту

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

З графіків видно, що в момент інтенсивного шліфування  $L = 20000$  м спостерігається значний знос вкладиша, що працює в парі з полірованим валом. Це призводить до суттєвого підвищення температури дослідних зразків порівняно з вкладишами, що працюють з обкаткою вала при зусиллі 0,75 та 3 кН після точіння та шліфування. Коефіцієнт тертя  $f$  на початку випробувань для полірованих зразків становив 0,127, а для зразків, прокатаних при  $P = 0,75$  кН і  $P = 3$  кН після точіння та шліфування, – 0,047 і 0,12 відповідно. Пізніше коефіцієнт тертя досяг мінімуму ( $f = 0,016$ ) для прибігання зразків при  $P = 3$  кН після повороту.

Як показано на рисунках 3.11 і 3.12, зношування бронзових вкладишів в парі з закатаними сталевими зразками відбувається в кілька разів швидше, ніж в парі з полірованими. При цьому знос полірованих зразків за значний час роботи в 3-3,5 рази більший, ніж обкатаних.

Мінімальний знос спостерігався у зразків, прокатаних роликом при  $P = 3$  кН після точіння. Це пояснюється не тільки ефектом зміцнення і збільшенням твердості, але і забезпеченням оптимальної шорсткості при такому способі обробки. Площа опорної поверхні прокатаних зразків у верхніх шарах в 1,5-2 рази більше, а в нижніх - в 1,1-1,2 рази, ніж у полірованих. Висота нерівності поверхні прибігання зменшилась у 1,5–1,8 раза, а полірованої поверхні – у 1,2 раза. На припрацьованих поверхнях при зношуванні шорсткість утворюється в основному за рахунок згладжування вершин виступів без істотної зміни шорсткості в її нижніх шарах. Це призводить до того, що при зношуванні ще більше збільшується різниця в розмірах опорної площі між полірованою та обкатаною поверхнею.

Спосіб прокатки деталей роликками дозволяє отримати армований шар різної товщини з досить високою і рівномірною твердістю, а також підвищеною зносостійкістю.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						52
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

## 4. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ ПОСИЛЕННЯ РОЛИКАМИ ВАЛІВ.

### 4.1. Обґрунтування вдосконалення технології

Проблема зносостійкості деталей машин є проблемою їх довговічності та надійності. Аналіз фізико-хімічних процесів, що відбуваються в поверхневих шарах тертя, змушує переглянути традиційні підходи до методів боротьби зі зношуванням. Раніше для подолання зносу прагнули збільшити твердість поверхонь тертя. Цей метод частково вирішив проблему, але не задовольнив усіх вимог. Недостатньо ефективною виявилася також концепція захисної ролі оксидної плівки, яка утворюється на поверхні тертя і виконує роль броні, що захищає метал від зносу. Зношування — це поступове руйнування поверхні твердого тіла під дією сил тертя. У поверхневому шарі внаслідок багаторазових деформацій відбувається процес поступового накопичення дефектів, що призводить до втомного руйнування деформованої зони.

Стійкість поверхневого шару твердого тіла до багаторазової деформації, інтенсивність виникнення напруг і деформацій можуть змінюватися під впливом фізико-хімічних і електрохімічних процесів, що протікають в поверхневих шарах, розділених мастильним матеріалом. Найважливішу роль у цьому відіграють явища адсорбції та хемосорбції, електрохімічна корозія, електрокінетичні процеси. Руйнування поверхневого шару і утворення частинок зносу здійснюється в основному в результаті багаторазового впливу. Спроби захистити поверхневий шар від зношування шляхом покриття поверхонь тертя шаром мастила, використанням плівок хімічних сполук (оксидів) і підвищенням твердості або міцності самого матеріалу виявилися недостатньо ефективними. Прокатка роликками є одним із способів поверхневої пластичної деформації (ППД).

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						53
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

Цей метод сприяє підвищенню зносостійкості, підвищенню мікротвердості поверхонь, зменшенню шорсткості, покращенню матеріалоемності деталей пар тертя, зменшенню зношування в процесі експлуатації. Взагалі будь-яка механічна обробка деталі носить локальний характер, оскільки, як правило, обробляються не всі поверхні, а лише ті, які беруть участь у виконанні пов'язаних з цією деталлю функціональних завдань. Тому локальна обробка поверхонь деталей має сенс при виконанні оздоблювальних і чистових операцій технологічного процесу.

#### **4.2. Вимоги до обладнання**

Пристрій для посилення валів повинен відповідати наступним вимогам:

1. Торцеве биття роликового профілю при його установці на підшипники кочення не повинно перевищувати 0,05 мм;
2. Робоча напруга в матеріалі пружної частини пристрою не повинна перевищувати 100 кг/мм;
3. Величину тертя в підшипниках кочення ролика після складання агрегату перевіряють обертанням ролика за допомогою металевої пластини. При притисканні до ролика і переміщенні ролик повинен легко обертатися на опорах без ковзання;
4. Простота виготовлення;
5. Надійність в роботі;
6. Простота і легкість в обслуговуванні;
7. Відсутність негативного впливу на навколишнє середовище.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						54
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

### 4.3. Будова та експлуатація обладнання для зміцнення валів прокатуванням роликami

При виготовленні та експлуатації деталей машин на їх поверхні утворюються нерівності та мікронерівності, а шар металу, який безпосередньо примикає до поверхні, часто має нову структуру, фазовий і хімічний склад порівняно з серцевиною, і в ньому виникають залишкові напруження. Умови експлуатації піддають цей шар найсильнішим фізико-хімічним впливам: механічним, термічним, магнітоелектричним, світловим, хімічним та іншим. Загальні пошкодження деталей зазвичай починаються на поверхні, наприклад, через знос, ерозію, кавітацію, втому, контактну втому та багато інших причин. Тому до поверхневого шару пред'являються більш високі вимоги, ніж до глибинних шарів деталі.

Обкатку валів проводили на токарному верстаті за допомогою приладу з пружним корпусом і покажчиком для вимірювання сили закатки, максимальне зусилля на ролик 500 Н (див. рис. 4.1, 4.2).

Ролик 1 встановлений на осі 2, яка встановлена на конічних підшипниках 3 і 4. Пристрій за допомогою корпусу 5 встановлюється в різцетримач металорізального верстата. Під час руху поперечного супорта верстата ролик 1 торкається заготовки, при цьому пружна частина корпусу 5 деформується. Величина пружної деформації тіла 5 сприймається штовхачем 6 і через штовхач 7 передається на індикатор 9, який кріпиться до корпусу 5 гвинтом 10. Направляючий вал 8 повертає штовхач 7 у його положення вихідне положення при знятті навантаження з ролика 1 при його знятті з деталі. Максимальна деформація пружного тіла становить 2,5 мм, а сила, що діє на ролик, 500 Н.

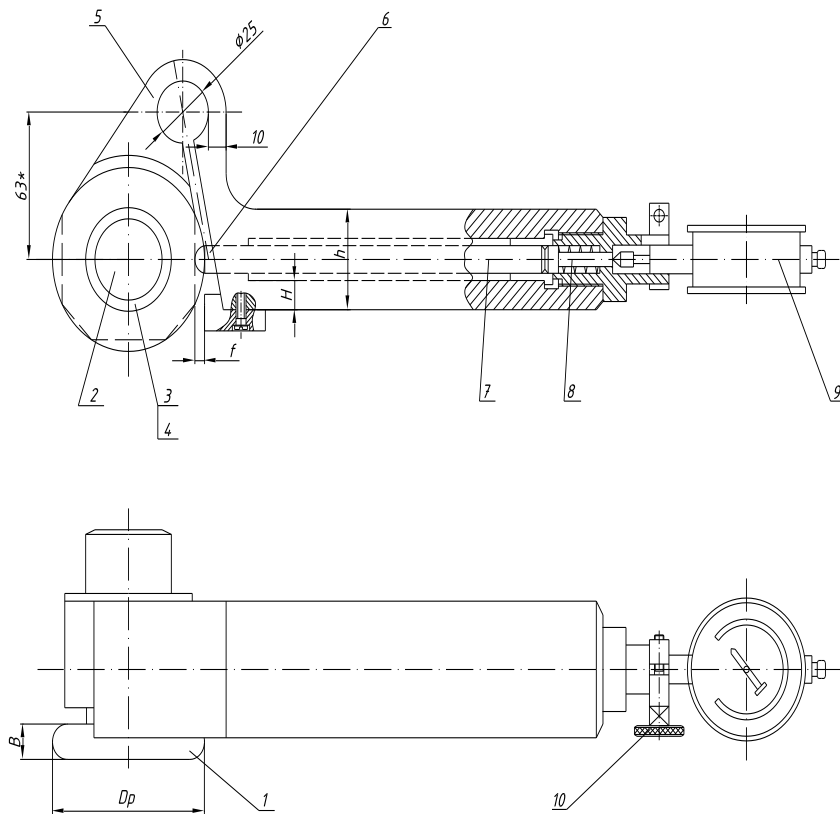


Рис. 4.1. Технологічне обладнання для зміцнення валів прокаткою роликами:

1 – ролик; 2 - тут; 3, 4 – підшипник; 5 – кожух; 6 – шток; 7 – штовхач; 8 – напрямна; 9 – покажчик; 10 – гвинт;

$IN = 20$  мм;  $Dp = 85$  мм;  $rp = 7,7$  мм;  $b = 65$  мм;  $H = 25$  мм;  $h = 45$  мм



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд пристрою для зміцнення

Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

#### 4.4. Розрахунок конструктивних параметрів технологічного обладнання

Припрацювання, необхідне для стабілізації робочої сили і зниження твердості технологічної системи, досягається застосуванням інструментів з пружними елементами [10]. На рис. 4.3 показана схема однороликового пристрою з пружним корпусом для обкатки валу. Важливою перевагою цього виду інструменту є його простота. Необхідне зниження твердості досягається зміною конфігурації корпусу без використання додаткових деталей.

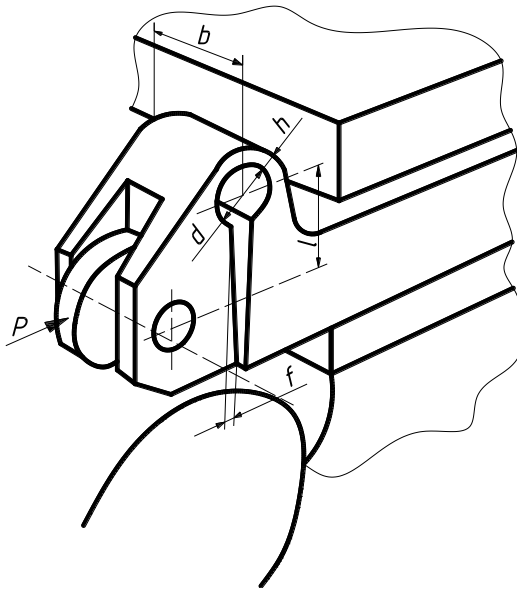


Рис. 4.3. Схема однороликового пристрою

Корпус ресори являє собою консольну круглу балку з прямокутним перерізом. Її прогин на рівні осі ролика можна розрахувати в залежності від зусилля кочення  $P$  і геометричних розмірів  $b$ ,  $h$ ,  $d$ ,  $l$  (див. рис. 4.3):

$$f = \frac{12}{E} \cdot \frac{P}{b} \left[ \frac{\pi}{16} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)^3 + \frac{l}{h} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left( \frac{l}{h} \right)^2 \cdot \left( \frac{d}{h} + 1 \right) \right], \quad (4.1)$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу.

Прогин від зусилля на одиницю ширини пружинної частини корпусу визначається її відносними розмірами. Тіла однакової форми в поздовжньому перерізі і однакової ширини з однаковими прогинами мають однакову міцність. Однак прогин, а отже, і допустима сила, обмежені пружністю корпусу.

$$\frac{I}{h}, (4.2)$$

де  $\sigma_T$  межа текучості матеріалу оболонки,  $\sigma_T = 100$  даН;

$e$  – коефіцієнт, що визначає положення нейтрального шару круглого променя залежно від  $\frac{d}{h}$ .

Позначаємо:

$$c_f = \frac{12}{E} \left[ \frac{\pi}{16} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)^3 + \frac{l}{h} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left( \frac{l}{h} \right)^2 \left( \frac{d}{h} + 1 \right) \right]; (4.3)$$

$$c_p = \frac{l}{1 + \frac{\left( 2 \frac{l}{h} + \frac{d}{h} + 1 \right) \cdot \left( 1 - e \frac{d}{h} - e \right)}{e \frac{d}{h} \left( \frac{d}{h} + 1 \right)}}. (4.4)$$

так

$$f = C_f \frac{P}{b}; \quad \frac{P}{b} < c_p \sigma_T h. (4.5)$$

Знайдемо значення з формули (4.3).  $c_f$ :

$$\begin{aligned} C_f &= \frac{12}{2 \cdot 10^4} \left[ \frac{3,14}{16} \left( \frac{40}{5} + 1 \right)^3 + \frac{80}{5} \left( \frac{40}{5} + 1 \right)^2 + \frac{3,14}{2} \left( \frac{80}{5} \right)^2 \left( \frac{40}{5} + 1 \right) \right] = \\ &= \frac{6}{10^4} [143,06 + 1296 + 3617,28] \approx 3,0. \end{aligned}$$

Для визначення значення коефіц  $c_p$ , спочатку необхідно визначити  $e$  (відстань від нейтрального шару до центру тяжіння (рис. 4.4)), яка за рівнянням:

$$e = R \left( 1 - \frac{I}{I + \frac{1}{3} \left( \frac{h}{2R} \right)^2} \right) \approx \frac{h^2}{12R},$$

де  $R$  – радіус шару з центром ваги поперечного перерізу криволінійної балки, який розраховується:

$$R = \frac{d}{2} + \frac{h}{2} = \frac{40}{2} + \frac{5}{2} = 22,5 \text{ мм}$$

Тоді отримуємо:

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						58
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		





$$Q_{2-2} = -P = -500\text{Н};$$

$$Q_{3-3} = -P + R_C = -500 + 857,14 = 357,14\text{Н};$$

$$Q_{4-4} = -P + R_C = 357,14\text{Н};$$

$$Q_{5-5} = -P + R_C + R_D = -500 + 857,14 + (-357,14) = 0;$$

$$Q_{6-6} = -P + R_C + R_D = 0.$$

Будуємо графік згинальних моментів:

$$M_{1-1} = -P \cdot 0 = 0;$$

$$M_{2-2} = -P \cdot 25 = -500 \cdot 25 = -12500\text{Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{3-3} = -P \cdot 25 + R_C \cdot 0 = -12500\text{Н}\cdot\text{мм};$$

$$M_{4-4} = -P \cdot 60 + R_C \cdot 35 = -500 \cdot 60 + 857,14 \cdot 35 = -30000 + 30000 = 0;$$

$$M_{5-5} = -P \cdot 60 + R_C \cdot 35 + R_D \cdot 0 = 0;$$

$$M_{6-6} = -P \cdot 85 + R_C \cdot 60 + R_D \cdot 25 = -42500 + 51428,4 - 8928,5 = 0.$$

Відповідно до наведених розрахунків бачимо, що небезпечна ділянка знаходиться в точці С:

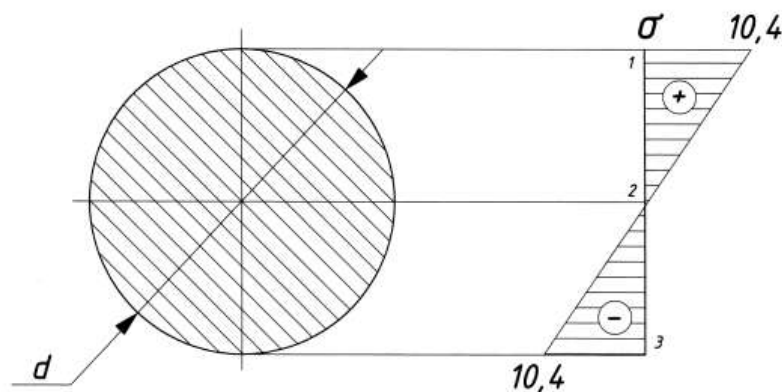
$$M_{max} = 12500\text{Н}\cdot\text{мм}; Q_{max} = 500\text{Н}.$$

Вибираємо круглий перетин:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_X \cdot 32}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{0,039 \cdot 10^{-3} \cdot 32}{3,14}} = 0,023\text{м} = 23,0\text{мм}$$

Діаметр осі збільшуємо на 7-10% від розрахункового, тоді діаметр буде дорівнює 30 мм.

Перевіряємо вісь на допустиме залякування:



Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата

$$\sigma_{1,3} = \frac{32M_{max}}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 12500}{3,14 \cdot 23^3} = 104 \leq [\sigma] = 450 \text{ МПа.}$$

Отже, виходячи з розрахунків, вибираємо ступінчасту вісь діаметром не більше 30 мм, яка відповідає вимогам міцності при заданому навантаженні.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						62
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Сучасні ремонтні підприємства оснащені складним, різноманітним і дорогим обладнанням вітчизняного та зарубіжного виробництва для підвищення зносостійкості пар тертя. Для ефективної роботи ремонтні служби повинні мати у своєму розпорядженні значні матеріальні ресурси для виконання робіт зі зміцнення та відновлення деталей сільськогосподарської техніки, здатних створювати якісні робочі поверхні деталей.

Перспективна технологія повинна характеризуватися простотою і універсальністю реалізації, незначними матеріальними витратами при досягненні необхідної якості деталей. Отже, огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів показав, що дана технологія є зміцнення поверхневою пластичною деформацією роликів прокатуванням. Дослідження розподілу мікротвердості по глибині показали, що після прокатки вала роликом за допомогою пристрою для зміцнення валів створюється досить однорідний за структурою і властивостями поверхневий шар, що забезпечує задану якість матеріалу по всій поверхні. весь термін служби деталі.

Площа опорної поверхні прокатаних зразків у верхніх шарах в 1,5-2, а в нижніх шарах - в 1,1-1,2 рази більше, ніж у полірованих, висота шорсткості прокатої поверхні має зменшилася в 1,5-1,8 рази, а шліфувана - в 1,2 рази. Після проведення випробувань на знос вкладиші, які працювали в парі з обкатаними зразками, показали вищу зносостійкість (в 3-4 рази) порівняно з полірованими. Розроблено технологію зміцнення валів і запропоновано конструкцію пристрою для обкатки роликів, що підвищить зносостійкість пар тертя.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						63
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Браславський В. К. Технологія обкатки великих деталей з роликами / В. К. Браславський. – К.: Машинобудування, 1975. – 160 с.
2. Бутаков Б. І. Удосконалення процесу остаточної прокатки деталей роликами / Б. І. Бутаков // Вісник машинобудування. – 1984. – № 7. – С. 50-53.
3. Бабай Ю. І. Поверхнєве зміцнення металів. / Ю.І. Бабей, Б. І. Бутаков, В. Г. Сисоєв. – К.: Наукова думка, 1995. – 255 с.
4. Аскіназі Б. К. Підвищення зносостійкості циліндрів двигуна шляхом електромеханічної обробки / Б. К. Аскіназі, Н. В. Веретеннікова // Автомобільна промисловість. – 1971. – № 7. – С. 113 – 116.
5. Біленький, С. І. Підвищення довговічності валів устаткування підприємств легкої промисловості: Навч. посібник / С. І. Білий – К.: Легка промисловість, 1964. – 302 с.
6. Браславський В. К. Технологія обкатки великогабаритних деталей роликами: навчальний посібник / В. К. Браславський. - М: Машинобудування, 1975. - 213 с.
7. Бурумкулов Ф.Х. Працездатність і довговічність відновлених деталей і складальних одиниць машин: навчальний посібник / Ф.Х. Бурумкулов, П. П. Лезин., 1993. - 120 с.
8. Бушинська О. П. Хіміко-термічна обробка сталі: Навчальний посібник/Е.П.Бушинська.: НДТІ, 1976. - 170 с.
9. Волков В. В. Довговічність машин, що працюють в абразивному середовищі: Навчальний посібник / В. В. Волків - М: Машинобудування, 1964. - 293 с.
10. Дігтяр Л. І. Витривалість валів з покриттям / Л. І. Тар – Кишинів: Штениця, 1983. – 175 с.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						64
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

11. Лурье Х. Б. Зміцнення та фінішна обробка робочих поверхонь деталей машин поверхневим пластичним деформуванням : навчальний посібник / Г. Б. Лурье. - М: Машинобудування, 1971. - 240 с.

12. Школяр Л. К. Технологія та пристрої для зміцнення та обробки деталей прокаткою : навчальний посібник / Л. М. Школяр. - М: Машинобудування, 1964. - 254 с.

13. Леонтьев П. А. Лазерна обробка поверхні металів і сплавів / П. А. Леонтьев, Н. Т. Чеканова, К. Г. Хан. - М: Металургія, 1986. - 142 с.

14. Макаров А. В. Міцність і зносостійкість нанокристалічних структур поверхонь тертя сталей на мартенситній основі / О. В. Макаров, Л. Г. Коршунов // Изв. університет фіз. - 2004. - № 8. - С. 65-80.

15. Макаров А. В. Вплив додаткового легування ванадієм і молібденом на структуру і зносостійкість високовуглецевої мартенситної сталі / О. В. Макаров, С. П. Насонов, Л. Г. Коршунов, Н. Л. Черненко, О. Л. Осинцева // ФМК. - 1997. - Вип. 83. – № 2. – С. 128 – 137.

16. Макаров А. В. Абразивна зносостійкість вуглецевих і низьколегованих інструментальних сталей та її оцінка неруйнівними методами / О. В. Макаров, Л. Г. Коршунов, Л. Г. Коган, Є. С. Горкунов, І. Л. Солодова., А. Л. Осинцева // Тертя і зношування. - 1998. - Т.19. - №5. – С. 633 – 641.

17. Суслов А. Г. Експериментально-статистичний метод забезпечення якості поверхонь деталей машин/О. Г. Суслов, О. А. Горлівка - М: Машинобудування-1. - 2003. - 303 с.

18. Бутенко В. І. Зношення деталей трибосистем / В. І. Бутенко – 2002. – 236 с.

19. Балтер К. А. Зміцнення деталей машин/К. А. Балтер. - М: Машинобудування, 1978. - 129 с.

20. Дунін Г. А. Якість поверхневого шару деталі та його вплив на експлуатаційні властивості виробів / Г. А. Дунін.: КПІ, 1980. – 68 с.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						65
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		

21. Вольфович А. К. Підвищення зносостійкості рухомих з'єднань шляхом трибомодифікації поверхонь тертя : дис. на полі бою студентський степ. доктор філософії / В ПОРЯДКУ. Вольфович - М, 1999. - 235 с.

22. Харкунов Д. К. Триботехніка/Д. К. Гаркунов. - М: Машинобудування, 1985. - 424 с.

23. Харкунов Д. К. Вибіркова передача у вузлах тертя / Д. К. Гаркунов, І. В. Крагельський, А. А. Поляків - М.: Транспорт, 1969. - 104 с.

24. Григор'єв К. А. Зменшення тертя і зношування в агрегатах автомобілів завдяки досягненням триботехніки / К. А. Григор'єв, Б. К. Бунаків – К.: ЦНДІТІ автомобільної промисловості, 1987. – 49 с.

25. Дякін С. І. Дослідження конструкційно-мастильних матеріалів на тертя та зношування у важконавантажених шарнірах / С. І. Дякін, Т. П. Філатова, В. В. Титов // Зб. Довговічність деталей машин, що труться. - М: Машинобудування, 1988. - Вип. 3. – С. 144 – 187.

26. Костецький Б. І. Тертя, змащування і зношування в машинах / Б. І. Костецький – К.: Техніка, 1970. – 395 с.

27. Крагельський І.В., Алісін В.В. Тертя, зношування та змащування. Довідник Книга 1/І.В. Крагельський, В.В. Алісін. - М: Машинобудування, 1978. - 400 с.

28. Лаптева В. Г. Дослідження зносостійкості пар тертя сталь-сталь при застосуванні мідь- та олововмісних мастильних присадок / В. Г. Лаптева, В. Ф. Капліна // Зб. Довговічність деталей машин, що труться. - М: Машинобудування, 1990. - Вип. 5. – С. 58 – 65.

29. Міхін Н. К. Експериментальне дослідження адсорбційно-корозійно-втомного характеру зношування / Н. К. Міхін // Вплив середовища на взаємодію твердих тіл при терті. – Дніпропетровськ, 1981. – С. 21-31.

30. Патент РФ № 2019563. МКІ С10К. 169/04. Композиція мастила «Ресурс дизель» / Ю.К. Войтович, К.К. Прегман, А.Х. Вайпер. бул. № 17, 1994.

					ДРБМТВА 24.21160.000 ПЗ	Лист
						66
Змін	Лист	документ №	Підпис	Дата		