

**Шифр роботи «Обкатування поверхні»**

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ  
ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ ДЕТАЛЕЙ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН»**

**2020 р.**

	Стор.
ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ ДЕТАЛЕЙ	4
1.1 Обґрунтування теми та формулювання задачі досліджень	4
1.2 Обробка методом поверхневого пластичного деформування	6
1.2.1 Обкатування і розкочування поверхонь заготовок	7
1.2.2 Калібрування отворів	8
1.2.3 Вібронакатування	9
1.2.4 Наклепування інструментами відцентрово-ударної дії	10
1.3 Обкатування деталей кульками	11
1.4 Параметри зміцнюючого шару, обкатаного кульками	14
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ	18
2.1 Дослідження шорсткості поверхневого шару після обкатування кульками	18
2.2 Вплив режимів обкатування кульками на зміцнення сталей	20
3 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ ДЕТАЛЕЙ	24
3.1 Обґрунтування необхідності вдосконалення технології	24
3.2 Вимоги, які ставляться до розробок	26
3.3 Будова і робота пристроїв для обкатування кулькою деталей	26
3.4 Розрахунки опорної планетарної головки	28
ВИСНОВКИ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31
Анотація	34

## ВСТУП

У сучасній техніці існує велика група деталей, конструктивним елементом яких є неповна сферична поверхня (НСП): кульові пальці автомобільних кульових шарнірів, наконечники рульових тяг, сферичні вкладиші бойків механізмів ударної дії, кулькові підп'ятники, сферичні наконечники штоків, стійки зі сферичними головками сферичних з'єднань важільних механізмів, штоки клапанних механізмів зі сферичними головками та інші.

Найбільш характерним представником деталей цієї групи є кульовий палець, який входить до складу кульових шарнірів - найбільш відповідальних вузлів підвіски сучасних автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин, що визначають безпеку їх експлуатації. Останнім часом в якості остаточної операції обробки головки кульового пальця набула поширення оздоблювально-зміцнююча обкатка кульками. Для її реалізації використовуються інструменти сепараторного типу з деформуючим тілами у вигляді кульок або роликів, що володіють, поряд з перевагами (надійність, висока стійкість, низька собівартість виготовлення) рядом недоліків, основним з яких є мала кількість робочих елементів, що негативно позначається на якості і продуктивності процесу.

Незважаючи на успішні результати українських і зарубіжних дослідників в області поверхневого пластичного деформування металів (ППД), широке застосування даного методу для обробки неповних сфер стримується через відсутність науково обґрунтованих методик визначення параметрів процесу обкатки та якості отримуваних деталей [1-8].

Підвищення надійності, довговічності деталей обкаткою може бути досягнуте за допомогою застосування технології, що використовує прогресивні багатокулькові безсепараторні обкатники, що містять максимальну кількість деформуючих елементів. Для її реалізації необхідно відповідне технологічне забезпечення. Тому розробка високопродуктивної технологічної оснастки, нових способів обробки, нових методик розрахунку параметрів процесу обкатки та характеристик якості формованих сферичних поверхонь є досить актуальною темою.

# **1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ ДЕТАЛЕЙ**

## **1.1 Обґрунтування теми та формулювання задачі досліджень**

Найважливішою проблемою сучасного машинобудівного виробництва є проблема управління якістю деталей машин. Під якістю деталей розуміють сукупність їх властивостей, що обумовлюють придатність деталей відповідати своєму функціональному призначенню в заданому діапазоні зміни умов експлуатації. До числа таких властивостей, званих експлуатаційними, відносять надійність, довговічність, зносостійкість, корозійну стійкість, жорсткість і т.д. Ці властивості у відповідності з призначенням деталей кількісно оцінюють за допомогою відповідних показників: межі витривалості, інтенсивності (або швидкості) зношування, корозійних втрат, податливості та ін.

Багато в чому проблема управління якістю деталей машин може бути вирішена шляхом конструкторсько-технологічного забезпечення їх експлуатаційних показників через так звані функціональні параметри якості поверхневих шарів. Першою передумовою цього є наявність функціонального зв'язку між експлуатаційними показниками і параметрами якості поверхневих шарів деталей, що дозволяє не тільки обґрунтовувати розрахунковим шляхом вимоги до параметрів якості, але і визначати напрямки технологічного впливу на поверхневі шари з метою забезпечення номінальних значень і допустимих відхилень їх фізично обґрунтованих параметрів. Другою передумовою вирішення даної проблеми є наявність функціонального зв'язку між параметрами якості та технологічними чинниками (метод обробки, жорсткість обладнання, конструкція і параметри інструменту, режими обробки і т.д.), що дозволяє обґрунтовано підійти до вибору факторів, під впливом яких формуються задані рівні якості деталей.

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

Розрізняють статичне, ударне, вібраційне та ультразвукове поверхнєве пластичне деформування. В якості робочого середовища використовують рідину (гідрравлічне ППД) або стиснене повітря (пневматичне ППД); в якості робочих тіл - ролики, кульки, дріб і т. д. ППД може виконуватися одночасно кількома методами обробки (суміщене ППД) або послідовно також декількома методами (комбіноване ППД).

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 результаті поверхневого деформування змінюються мікроструктура і фізико-механічні властивості верхнього шару металу: підвищується його твердість і міцність, виникають сприятливі стискаючі залишкові напруження. Шорсткість поверхні стає меншою.

Особливо ефективним, є локальне (місцеве) зміцнення ППД ділянок концентраторів напружень, яке значно продуктивнішими і дешевше, ніж повсюдне.

Унікальність обробки кульками поверхонь деталей машин полягає в тому, що створюється реальна можливість отримання поверхневого шару з змінними показниками якості. В результаті стане можливим реальне управління експлуатаційними показниками якості поверхневого шару деталей в залежності від переважаючого експлуатаційного фактора, а також зовнішніх і внутрішніх впливів, що, безумовно, призведе до підвищення їх працездатності і надійності.

Активний розвиток машинобудування свідчить про гостру необхідність розробки в сучасному машинобудуванні принципів і шляхів здійснення різних

видів локальної обробки поверхонь деталей машин і, перш за все, обкатування кульками.

Тому, метою роботи є підвищення надійності і довговічності деталей сільськогосподарської техніки шляхом розробки технології зміцнення за допомогою поверхневого пластичного деформування обкатуванням кульками.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз сучасного стану застосування методів поверхневого пластичного деформування та обґрунтувати існуючі способи обкатування кульками деталей.
2. Експериментально дослідити вплив обкатування кульками на властивості зміцненого шару.
3. Провести дослідження шорсткості поверхневого шару і вплив режимів обкатування кульками на експлуатаційні показники.
4. Розробити технологію і конструкції пристроїв для обкатування кульками деталей сільськогосподарської техніки.

## **1.2 Обробка методом поверхневого пластичного деформування**

Пластичне деформування поверхневих шарів здійснюється за допомогою різних методів, які умовно можна розділити на дві групи. До першої слід віднести такі способи, які передбачають створення деформаційного зусилля від інструменту шляхом безперервного контакту з деталлю, до другої - способи, при яких проводиться ударне дію на деталь робочих тіл або інструменту. Незважаючи на відмінність методів ППД їх об'єднує спільність основних процесів і впливів на стан металу і оброблюваної поверхні.

Одним з найбільш важливих результатів ППД є виникнення в поверхневому шарі металу залишкових напружень стиску. Причина їх виникнення полягає в тому, що при пластичній деформації поверхневі шари металу збільшуються в обсязі, однак цьому перешкоджають нижчих верстви. У результаті перші виявляються під впливом залишкових напружень стиску, а

другі - під впливом залишкових розтягуючих напруг. ППД також змінює мікрорельєф поверхні і покращує фізико-механічні властивості поверхневого шару за рахунок підвищення твердості, межі текучості і опору відриву.

Існує класифікація методів обробки деталей ППД [5].

Формотворчі методи: накочення зовнішніх різьбових поверхонь, викочування внутрішньої різьби, накочення зубів зубчастих коліс, накочення шліців.

Калібрувальні методи: дорнування циліндричних отворів, дорнування фасонних отворів.

Згладжуючі методи: вигладжування поверхонь, обробка металевими щітками.

Зміцнюючі методи: пневмодробоструминна обробка, дробометна обробка, гідродробеструминна обробка, пневмодинамічна обробка, ударно-барабанна обробка, ударно-імпульсна обробка, вібраційна ударна обробка, відцентрово-кулькова обробка вібраційними ексцентриковими та ультразвуковими зміцнювачами, зміцнююче карбування.

**1.2.1 Обкатування і розкочування поверхонь заготовок.** Обкатування і розкочуванням обробляють і зміцнюють циліндричні, конічні, плоскі і фасонні зовнішні та внутрішні поверхні [9].

Сутність цих методів полягає в тому, що в результаті тиску поверхневі шари металу, контактуючи з інструментом високої твердості, опиняються в стані всебічного стиснення і пластично деформуються. Інструментом є ролики та кульки, що переміщуються щодо заготовки. Мікронерівності оброблюваної поверхні згладжуються шляхом зминання мікровиступів і заповнення мікровпадин.

Обкатують, як правило, зовнішні поверхні, а розкочують внутрішні циліндричні і фасонні поверхні. При обкатуванні роликами основними параметрами режиму зміцнення є тиск в зоні контакту з роликом, число його

проходів, подача і швидкість обкатування. Глибину деформованого шару визначає тиск.

На рис. 1.1 показані схеми обкатки і розкочування поверхонь роликками і кульками. Зі схем випливає, що обробка обкатування і розкочуванням застосовна для циліндричних, фасонних і плоских поверхонь, галтелей, поперечних і поздовжніх канавок.

**1.2.2 Калібрування отворів.** Така обробка здійснюється без зняття стружки із заготовки. Пластичне деформування поверхонь виконується із заданою точністю і шорсткістю. Основними найпоширенішими процесами пластичного деформування є калібрування, обкатування і розкочування, алмазне вигладжування, наклепування інструментами відцентрово-ударної дії.

Калібруванням обробляють переважно отвори різної форми в заготовках за допомогою оправок, що калібрують (дорнів) або кульок, які проштовхуються (на пресах) через оброблюваний отвір із установленим натягом. При великій довжині отвору обробку поверхнево-пластичним деформуванням можна виконувати за допомогою калібровочних протяжок на протяжних верстатах. Основним параметром оцінки процесу є натяг, який створюється перевищенням розміру, що калібрує інструмента над розміром отвору, що підлягає калібруванню [10].

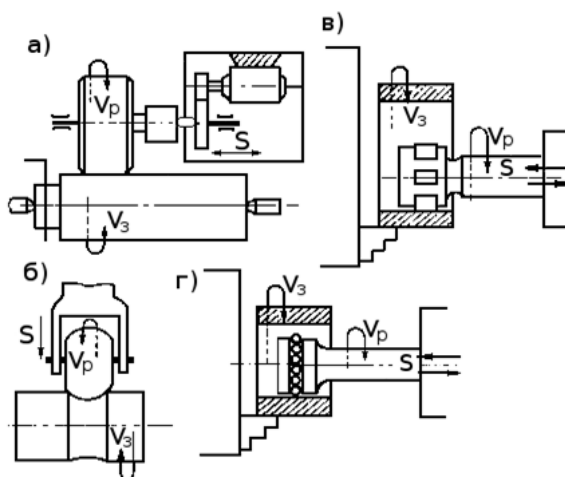


Рисунок 1.1 Обкатування і розкочування поверхонь: а – обкатування циліндричної поверхні; б – обкатування фасонної поверхні; в, г – розкочування отворів роликками і кульками



Схеми калібрування отворів показані на рис. 1.2, (а, б, в). Короткі отвори калібруються на пресах шляхом прошовування оправлення (пуансона) або кульки, а отвору з відношенням довжини до діаметра  $l/d > 8$  простягаються, що калібрує пуансоном на протяжних верстатах.

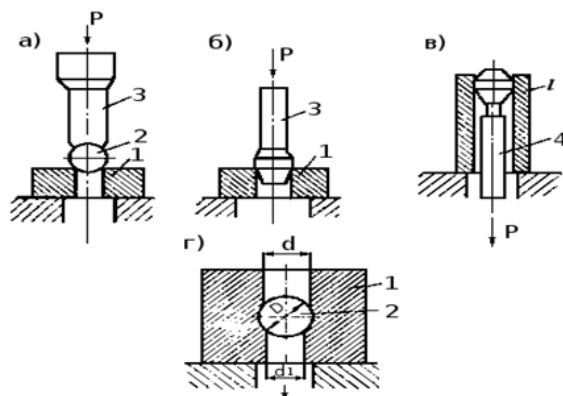


Рисунок 1.2 - Калібрування (дорнування) отворів: а – кулькою; б – оправленням; в – протяганням пуансона; г – пружні й залишкові деформації:

1 – деталь; 2 – кулька; 3 – оправлення; 4 – пуансон

При калібруванні з'являються в металі пружні й залишкові деформації (рис. 1.2, г). У результаті дорнування діаметр обробленого отвору збільшується проти вихідного за рахунок залишкової деформації, але все-таки стає менше, чим діаметр інструмента, що калібрує, за рахунок дії пружної деформації.

**1.2.3 Вібронакатування.** Вібронакатування – це універсальний метод обробки металу шляхом холодної пластичної деформації з метою утворення регулярних мікрорельєфів [13]. Для підвищення зносостійкості деталей машин на поверхнях тертя доцільно видавлювати слабо примітні, що прилягають друг до друга канавки. В канавках накопичується мастильний матеріал і дрібні частки, що утворювалися в процесі зношування. Канавки утворюються вібронакатуванням. Зміцнюючому елементу – кулі або алмазу, установленому в різцетримачі токарного верстата, крім руху  $D_{спр}$  (рис. 1.3) спеціальним пристроєм надають додаткові рухи алмазу  $D_a$  з відносно малою амплітудою. Змінюючи  $D_{заг}$ ,  $D_{пр}$ , амплітуду і частоту коливань, можна на оброблюваній

поверхні одержати необхідний рисунок. Найбільше поширення одержали рисунки з непересічними канавками, з не повністю пересічними і з канавками, що зливаються. Можливо також вібронакатування внутрішніх і плоских поверхонь. Найважливішою характеристикою такої поверхні є загальна площа канавок (у відсотках від номінальної площі оброблюваної поверхні).

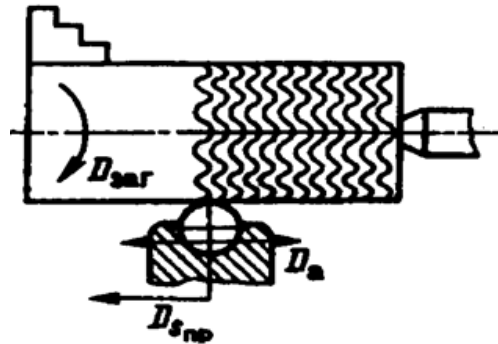


Рисунок 1.3 - Схема вібронакатування

#### 1.2.4 Наклепування інструментами відцентрово-ударної дії.

Наклепування використовують для поверхневого зміцнення деталей, при цьому шорсткість обробленої поверхні знижується на 1-2 класу, твердість підвищується на 30...80% з утвором на поверхні напружень стиску 400...800 МПа.

Сутність процесу полягає в тому, що кульки або ролики, поміщені в радіальні пази швидкообертового диска, наносять численні удари по оброблюваній поверхні і тим самим деформують її на певну глибину. Кульки можуть зміщатися в радіальному напрямку і після нанесення удару відскакують від поверхні заготовки.

Таким способом обробляють поверхні обертання, плоскі і фасонні поверхні деталей із чорних і кольорових металів і їх сплавів, попередньо оброблених шліфуванням, чистовим гострінням і іншими методами із шорсткістю  $Ra\ 5 - 0,63\ \mu\text{m}$ . При наклепуванні в якості ЗОР застосовують суміш гасу й машинного масла.

### 1.3 Обкатування деталей кульками

Оздоблювальна обробка на токарних верстатах проводиться в основному в тих випадках, коли необхідно знизити шорсткість обробленої поверхні при невисоких вимогах до точності. Частіше це досягається тонкою пластичною деформацією поверхні деталі [6,11,12,13]. При цьому згладжуються гребінці мікронерівностей і утворюється наклепаний шар металу глибиною до 3 мм, який забезпечує підвищення твердості поверхні деталі приблизно на 30%. Тонка пластична деформація поверхневого шару металу може бути отримана обкатуванням обертовими роликами або кульками, а також вигладжуванням інструментом із твердих або надтвердих матеріалів. Для досягнення високої точності розмірів деталі й зниження шорсткості поверхні застосовується метод притирання (доведення).

Оздоблювальну і зміцнюючу обробку зовнішніх поверхонь деталей здійснюють обкатуванням, а внутрішніх - розкочуванням. Обидва ці методи принципово не відрізняються друг від друга, однак інструменти для обкатування й розкочування мають конструктивні особливості. Обкатування забезпечує шорсткість обробленої поверхні  $R_a = 0,4-0,05$  мкм (11-го класів), при цьому шорсткість поверхні деталі до обкатування повинна бути на два класи нижче, тобто 9-го класів. Інструмент для обкатування, представлений на рис. 1.4, установлюють у різцетримач хвостовиком 12.

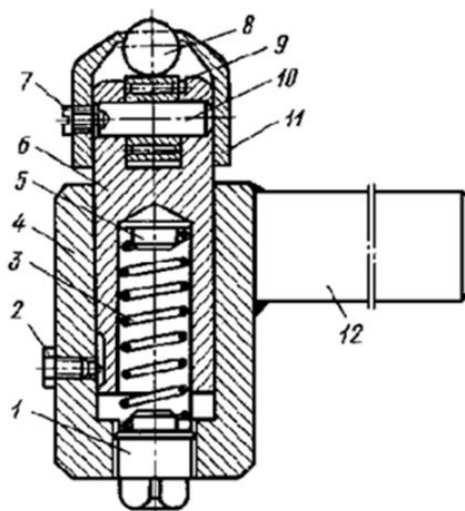


Рисунок 1.4 - Пристрій для обкатування кульками

Обкатування оброблюваної поверхні проводиться кулькою 8, який упирається в зовнішню обойму підшипника 9, насадженого на вісь 10, і втримується від випадання ковпачком 11 зі стопором 7. Під дією зусилля обкатування кулька 8 віджимається й переміщає піноль 6 у розточенні корпуса 4, яка стискає пружину 3. Остання, з одного боку, упирається в підп'ятник 5, а з іншого – в пробку 1, за допомогою якої регулюється сила стиску пружини. Піноль 6 утримується від розвороту в корпусі 8 болтом 2. Для обробки обкатуванням різцетримач із обкатаним інструментом підводять до зіткнення кульки з поверхнею деталі, попередньо обробленої, як зазначено вище. Потім гвинтом поперечної подачі супорта дають натяг 0,5-0,8 мм, роблячи відлік по лімбу. Установлюють частоту обертання шпинделя 1200-1500 об/хв і поздовжню подачу 0,3-1,5 мм/об, включають верстат і роблять 2-3 поздовжніх проходу вправо і вліво. У якості ЗОР використовують веретенне масло.

Поряд з викладеними вище способами широко застосовують відцентрове (інерційне) зміцнення. При цьому користується відцентрова сила кульок (роликів), що вільно сидять у радіальних отворах швидкообертового диска. Схема відцентрової обробки поверхні кульками показана на рис. 1.5.

Кульки 2 при обертанні диска 3 зміщаються в радіальному напрямку, наносячи численні удари по заготовці 1 і пластично деформуючи поверхню. Для одержання поверхонь із мінімальним параметром шорсткості й зміцненим шаром невеликої глибини застосовують алмазне вигладжування.

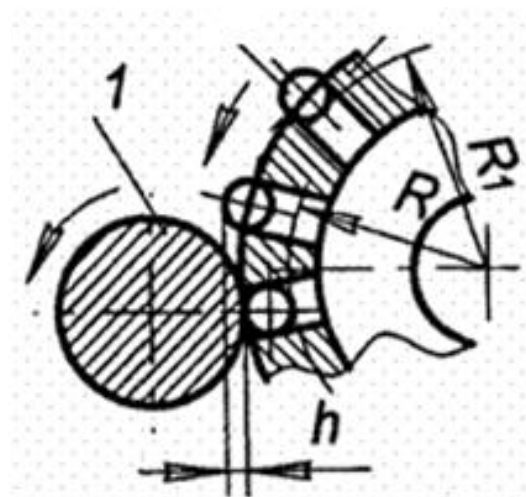


Рисунок 1.5 - Схема відцентрової обробки поверхні кульками

## 1.4 Параметри зміцнюючого шару, обкатаного кульками

Кульковий інструмент застосовують для обкатування спеціальних або складних профільних поверхонь: сфер, галтельних переходів, ринв підшипників.

Кулі, які використовують для ППД виготовляють із підшипникових сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, 18ХГТ, в особливих випадках можна застосовувати корозійно-стійкі сталі 11Х18М, 95Х18 [3].

Особливості кульових пристроїв - використання стандартних куль із високими точністю обробки і якістю поверхні, незначні сили обробки, пов'язані із крапковим (умовно) контактом інструмента і оброблюваної поверхні, низька подача і продуктивність [6].

Параметри шорсткості оброблюваної поверхні  $R_a$  0,2...0,8 мкм практично досягаються при вихідних значеннях цих параметрів 0,8...6,3 мкм. Ступінь зменшення шорсткості поверхні залежить від матеріалу, робочого зусилля або натягу, подачі, вихідної шорсткості, конструкції інструмента і т.д. (табл.1.1).

Таблиця 1.1

Зміна розмірів поверхонь виробів при обкатуванні і розкатуванні залежно від шорсткості вихідної поверхні

Спосіб попередньої обробки	Шорсткість $R_a$ , мкм	Величина, на яку змінюється розмір після обробки, мм
Точіння	6,3	0,03-0,06
	3,2	0,02-0,04
	1,6	0,01-0,02
Точіння різцем широким	3,2	0,01-0,02
	1,6	до 0,01
Шліфування	3,2	0,01-0,03
	1,6	0,005-0,015

Величина сили, що забезпечує одержання необхідних напружень у зоні деформації, залежить від їхніх значень і розмірів контактної площі. При обробці з поздовжньою подачею рівнодіюча всіх сил розкладається на три складові сили (по трьом координатним осям). Відповідно до цього розрізняють сили - нормальну, дотичну і силу подачі (рис. 1.6).

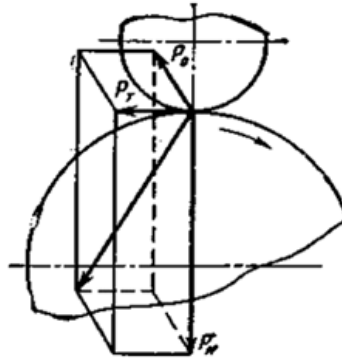


Рисунок 1.6 - Схема сил, що діють при обкатуванні кулькою поверхонь деталі

Основною силою, що створює необхідний тиск у контакті деформуючого інструмента й деталі, є нормальна складова  $P_n$ . Визначення дотичної сили необхідно для розрахунків потреб потужності головного руху й розрахунків на міцність деяких деталей верстата. Визначення осьової сили (сили подачі) необхідно для розрахунків потужності, що вимагається на подачу й для розрахунків на міцність механізму подачі.

Рівнодіюча сила:

$$R = \sqrt{P_n^2 + P_t^2 + P_o^2}, \quad (1.1)$$

Експериментальне дослідження сили при обкатуванні кулею проводилося на токарному верстаті за допомогою спеціального трикомпонентного динамометра. Результати дослідження (рис. 1.7) показують, що дотична сила  $P$  у середньому в 10 раз менше нормальної сили. Зміна подачі слабо позначається на співвідношенні цих сил.

На підставі експериментальних даних при оздоблювально-зміцнюючому обкатуванні маємо:

$$\frac{P_{\tau}}{P_n} = 0,07 \div 0,12 \quad ; \quad \frac{P_o}{P_n} = 0,05 \div 0,1$$

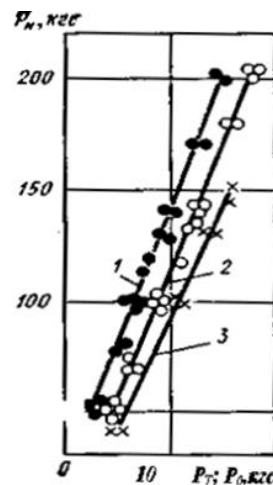


Рисунок 1.7 - Схема сил при обкатуванні валиків зі сталі 45 з подачею 0,1 мм/об: 1 - осьова сила; 2 - дотична сила при нормальній шорсткості поверхні; 3 - дотична сила при грубій поверхні

Враховуючи наведене співвідношення, величину рівнодіючої сили виразимо через силу  $P_n$ , тобто

$$R = \sqrt{P_n^2 + [(0,07 \div 0,12)P_n]^2 + [(0,05 \div 0,1)P_n]^2} = (1,004 \div 1,012)P_n, \quad (1.3)$$

Рівнодіюча сила  $R$  відрізняється від величини нормальної сили не більше ніж на 0,4-1,2%.

При алмазному вигладжуванні різних матеріалів:

$$\frac{P_{\tau}}{P_o} = 0,03 \div 0,12, \quad (1.4)$$

тобто співвідношення сил майже таке ж, як і при обкатуванні кулею.

Наявні експериментальні дані про зв'язки зміцнення з тонкою кристалічною структурою металів і сплавів [13, 16] дають можливість зробити висновки про те, що необхідним і найбільш важливим кристалоструктурним фактором зміцнення металів і сплавів є роздроблення зерна на фрагменти і утворення усередині фрагментів субмікроскопічної блокової структури.

На рис. 1.8 наведені фотографії мікроструктури армко-заліза при різному ступені деформації в процесі обробки кульками.

Дроблення блоків на більші ділянки при малих відносних деформаціях (6-7%) обумовлене, імовірно, порівняно довгими шляхами переміщення дислокацій до зупинки яким-небудь дефектом кристалічних ґрат, кількість яких у відпаленому матеріалі невелике [20], або ж границями зерен [11].

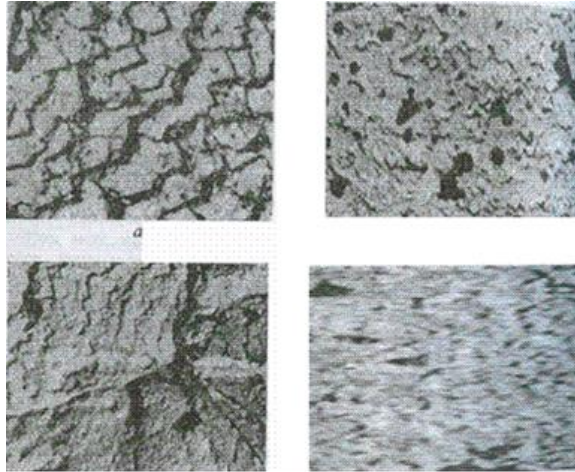


Рисунок 1.8 - Зміни структури армко-заліза при різному ступені деформації в процесі обробки кульками: а, в - внутрішня будова зерен відпаленого заліза; б - при деформації 10%; г - при деформації 20% (збільшення 150) [7, 17, 18].

На рис. 1.9 у напівлогарифмічних координатах наведені залежності характеристик тонкої кристалічної структури матеріалу поверхневого шару зразка, підданого обробці кульками (розмірів блоків мозаїки, щільності дислокацій, внутрішніх напружень 2-го роду, від часу обробки). Дослідження тонкої кристалічної структури здійснювалося на рентгенівській установці «ДРОН-1,5» відповідно до методики, викладеної в роботі [13,19].

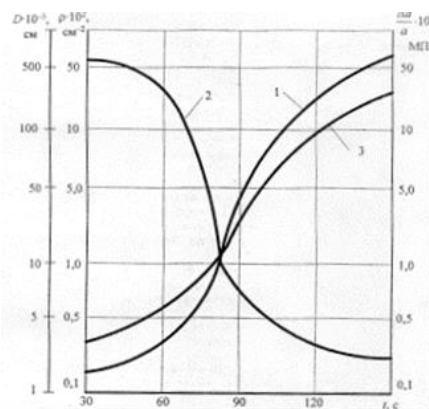


Рисунок 1.9 - Зміни щільності дислокацій (крива 1), розмірів блоків мозаїки (крива 2) і внутрішніх напружень 2-го роду (крива 3) при обробці кульками зразків з заліза



Аналіз результатів виконаних досліджень дає підставу зробити висновок про те, що зі збільшенням тривалості обробки розміри блоків зменшуються, а щільність дислокацій і величина внутрішніх напружень збільшуються. Однак при цьому зростає мікротвердість матеріалу поверхневого шару й виникає небезпека в його перенаклепу і відшаровування.

## 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ

### 2.1 Дослідження шорсткості поверхневого шару після обкатування кульками

Мінімальна шорсткість різних оброблюваних поверхонь (плоских, циліндричних, торцевих, сферичних) може бути досягнута при обкатуванні кулею більшого діаметра, що особливо ефективно при обробці деталей з м'яких кольорових і алюмінієвих сплавів, які погано піддаються обробці абразивними методами.

Поверхня із шорсткістю, що менша ніж шорсткість деформуючого елемента - кулі, виходить внаслідок того, що в цьому випадку мікрорельєф поверхні утворюється не як результат руху абразивного зерна при абразивній обробці, а як результат пластичного зсуву металу під кулею. При обкатуванні кулею великого діаметра з малою його подачею створюються найбільш сприятливі умови для пластичного зсуву металу внаслідок кочення кулі по оброблюваній поверхні з мінімальним прослизанням щодо неї.

При обробці торцевих поверхонь на токарному верстаті обкатник (рис.2.1) закріплюють у різцетримачі супорта. Режим обкатування (сила притискання і подача кулі, число робочих ходів, склад мастильного матеріалу) вибирають дослідним шляхом - методом пробних ходів.

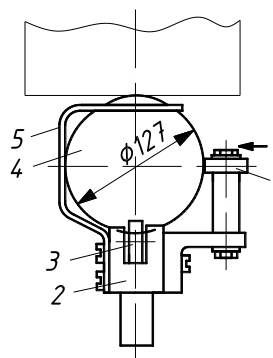


Рисунок 2.1 - Схема обкатної головки при обкатуванні кулею великого діаметра: 1, 3 - шарикопідшипники; 2 - корпус; 4 - куля; 5 - сепаратор

При відпрацьовуванні режиму обкатування особливо ретельно слід установити силу обкатування, тому що збільшення сили до значення більшого, ніж критичне, для даного матеріалу призводить до перенаклепу, руйнування поверхневого шару металу і, як наслідок, - до збільшення параметра шорсткості поверхні (рис. 2.2).

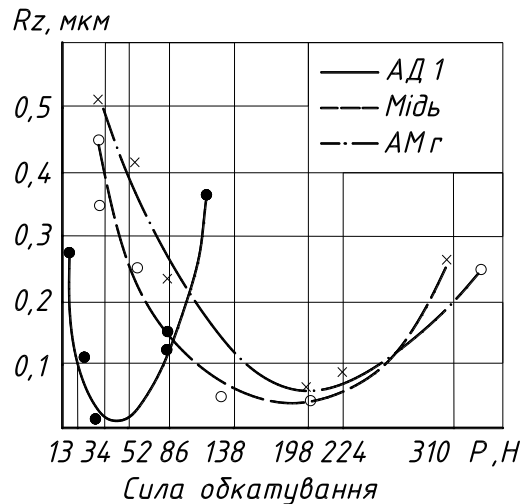


Рисунок 2.2 - Залежність шорсткості обкатоної поверхні від сили обкатування кулею великого діаметра

На рис. 2.3 показано вплив технологічних факторів, властивостей матеріалу та вихідної шорсткості на шорсткість оброблених поверхонь. Обкатка проводилася кулькою діаметром 10 мм. Із збільшенням питомої тиску нерівності знижуються. Особливо різке зниження відбувається при тисках до 1000-1400 МПа.

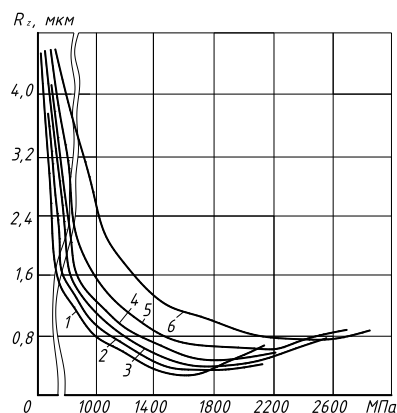


Рисунок 2.3 - Залежність шорсткості від тиску при обкатці і матеріалу заготовки: 1 - сталь 20; 2 - сталь ШХ15; 3 - сталь 45; 4 - сталь 20ХН3А; 5 - сталь У8; 6 - сталь 18ХГТ

Великою перевагою обкатки кулькою є можливість отримання простим і економічним способом високого класу чистоти оброблених поверхонь. Таким чином, зменшення шорсткості відбувається в розглянутих випадках на чотири-п'ять класів.

Зміна подачі і розмірів деформуючого інструменту може в значній мірі зменшити або збільшити шорсткість обробленої поверхні. Отже, зміною зазначених параметрів можна регулювати шорсткість поверхні.

## 2.2 Вплив режимів обкатування кульками на зміцнення сталей

При обкатці необхідне зміцнення при заданому контактному тиску, мабуть, досягається при певному числі повторних деформацій. Якщо число деформацій менше необхідного, то для отримання такого ж приросту твердості необхідно знизити подачу або застосувати додаткові проходи. У тих випадках, коли змінювати подачу і число проходів недоцільно, має бути підвищений тиск. Сказане підтверджується даними П.Є. Дяченко та З.П. Грозінській [20]. У їх досліді одна і та ж поверхнева твердість (HV 310) у зразків зі сталі 45 була досягнута при обкатці кулькою з силою 2200 Н при подачі 0,06 мм/об і з силою 3000 Н при подачі 0,24 мм/об. Таким чином, повторними проходами може бути вище на ступінь зміцнення, але не глибина. Ретельно проведені експерименти дозволили встановити, що повторні проходи з постійною силою  $P_n = 2000$  Н не змінили глибини наклепаного шару (див. рис. 2.4).

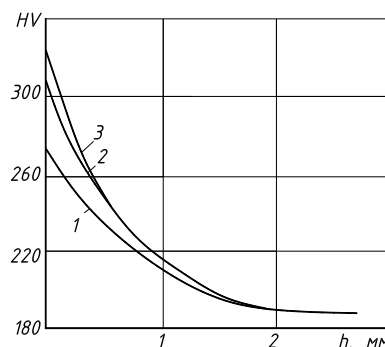


Рисунок 2.4 - Вплив числа проходів на глибину наклепа: 1 - один проход; 2 - три проходи; 3 - шість проходів; h - відстань від поверхні

На підставі розглянутих даних слід рекомендувати обкатку в один прохід. Тільки при тисках значно нижче оптимальних доцільно застосовувати два-три проходи. У ряді випадків для отримання необхідного ступеня зміцнення за один прохід необхідно зменшувати подачу.

Зміна швидкості обкатки від низьких значень до 200 м/хв не робить істотного впливу на збільшення поверхневої твердості. Тому поширена думка, що ефективність зміцнення не залежить від швидкості. Експерименти автора підтвердили, що при збільшенні швидкості з 12 до 180 м/хв приріст твердості у сталі 45, обкатаною кулькою діаметром 10 мм з тиском 2250 МПа, виявився незначним (рис. 2.5). Тим не менше слід все ж відзначити тенденцію до її зростання при одночасному, то ж не так значному, зниженні глибини зміцненого шару.

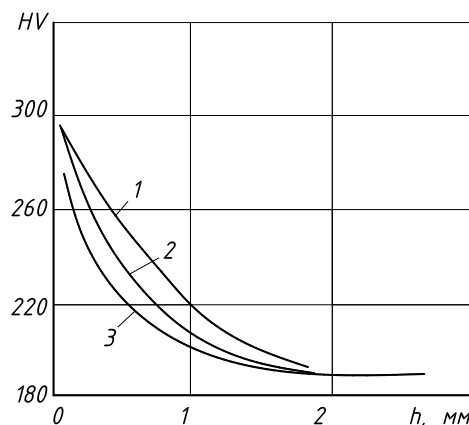


Рисунок 2.5 - Вплив швидкості на зміцнення при обкатці зразків зі сталі 45:  
1 -  $v = 12$  м/хв; 2 -  $v = 50$  м/хв; 3 -  $v = 180$  м/хв;  $h$  - відстань від поверхні

Зміна поверхневої твердості в результаті обкатки загартованих сталей добре виявляється і методом вдавлювання алмазного конуса (випробування за Роквеллом). Наприклад, після обкатки зразків зі сталі 14X2H3MA їх твердість зросла з HRC 57-60 до HRC 61-64.

При обкатці загартованих сталей кулькою діаметром 5-10 мм зміна подачі від 0,06 до 0,12 мм/об практично не впливає на поверхневій твердості. Однак подальше збільшення подачі знижує твердість і тим більше, чим менше тиск (рис. 2.6). Особливо різко знизилася твердість при подачі  $s = 0,3$  мм/об. Подібна

картина відзначена для всіх досліджених загартованих сталей. Обробка з великими подачами, крім того, викликає розкид твердості більш значний, ніж у незагартованих сталей. Зі збільшенням діаметра кульки до 15-25 мм і незмінному контактному тиску обкатку можна проводити з подачею 0,15-0,20 мм/об, не побоюючись помітного зниження поверхневої твердості, так як в цьому випадку збільшується обсяг осередку деформації.

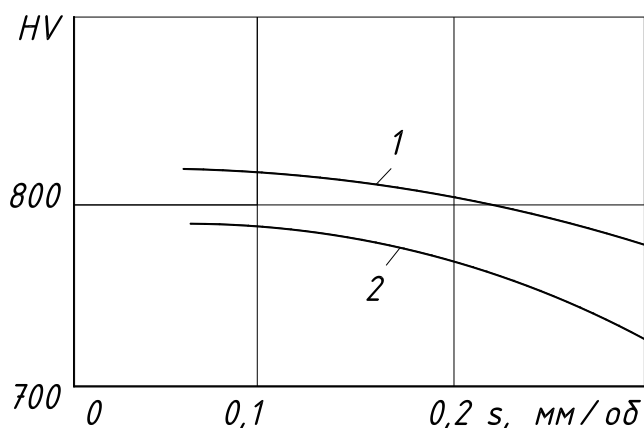


Рисунок 2.6 - Вплив подачі на поверхневу твердість зразків із загартованої сталі ШХ15, оброблених при тиску: 2800 МПа (крива 1) і 2200 МПа (крива 2)

Експериментальні дані приводять до висновку про більш сильному впливі подачі при обкатці загартованих сталей в порівнянні з м'якими. Пояснюється це їх різними фізико-механічними властивостями. Природно, що зі зменшенням осередку деформації вплив подачі проявляється більш різко.

При оптимальному тиску повторні проходи незначно підвищують поверхневу твердість. Тому обкатку в два-три проходи доцільно проводити при тисках нижче оптимального, так як тільки в цьому випадку відбувається помітний приріст твердості. Наприклад, якщо при обкатці зразків із сталі ШХ15 (HRC 62) при тиску 2800 МПа другий прохід дуже мало вплинув на зміцнення (рис. 2.7, крива 1), то при тиску 1900 МПа в результаті другого і третього проходів твердість істотно підвищилася (крива 2).

Результати дослідження твердості в поверхневому шарі загартованих і обкатаних зразків показують, що товщина наклепа і в цьому випадку

визначається тиском і розмірами площі контакту, а також структурою і властивостями матеріалу.

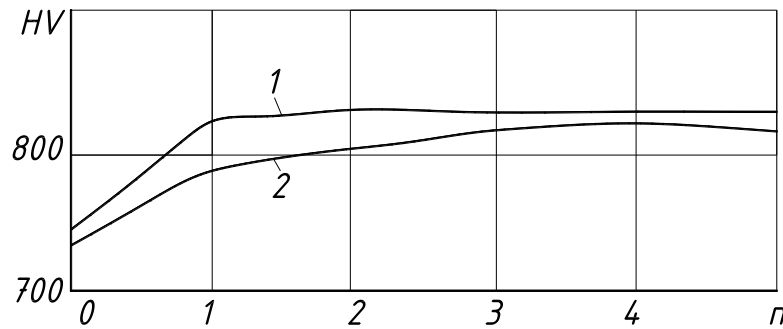


Рисунок 2.7 - Поверхнева твердість зразків із загартованої сталі ШХ15 в залежності від тиску і числа проходів

При обкатці кулькою зразків із сталі ШХ15 (HRC 62) зміна тиску від 1500 до 3000 МПа збільшило товщину зміцненого шару з 0,3 до 1,3 мм (рис. 2.8). У зразках зі сталі 14Х2Н3МА (HRC 59) глибина проникнення пластичної деформації виявилася дещо більше, ніж у попередньому випадку. При тиску 1500 МПа вона становила 0,5 мм, а при тиску 2800 МПа - 1,3 мм, тобто виявилася рівною товщині наклепу, повчання в сталі ШХ15 при тиску 3000 МПа.

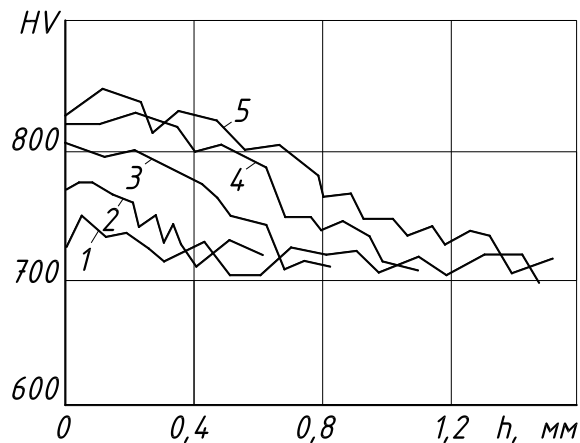


Рисунок 2.8 - Розподіл твердості в поверхневому шарі зразків із сталі ШХ15 необкатаному (крива 1) і обкатаних кулькою діаметром 10 мм з тиском 1500 МПа (крива 2); 2200 МПа (крива 3), 2700 МПа (крива 4) і 3000 МПа (крива 5)

## **3 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБКАТУВАННЯ КУЛЬКАМИ ДЕТАЛЕЙ**

### **3.1 Обґрунтування необхідності вдосконалення технології**

Відновлення деталей за допомогою пластичних деформацій засновано на їхній здатності змінювати свою геометричну форму й розміри за рахунок перерозподілу металу без руйнування під дією зовнішніх сил [21] .

Ремонт деталей пластичною деформацією - один з найпоширеніших методів ремонту деталей, заснований на пластичній деформації зношених деталей з наступною механічною обробкою. Метод використовують для виправлення вм'ятин, погнутості, скручування, зміни посадкових розмірів зношених місць деталей (збільшення діаметра зношених шийок осей, валів, зменшення діаметра зношених поверхонь втулок), підвищення міцності деталей і зниження шорсткості механічної обробки. Цей спосіб застосовується також для відновлення первісних властивостей деталей, зміцнення їх робочих поверхонь і в якості заключної чистової обробки. Для полегшення пластичного деформування деталей попередньо підігрівають, що різко підвищує пластичність металу. Так, при нагріванні деталей до 900°C прикладене навантаження можна знизити до 0,5...0,6 МПа.

Деталі відновлюють як у холодному, так і в гарячому стані. У холодному стані звичайно відновлюють деталі з низьковуглецевих сталей, кольорових металів і сплавів, а в гарячому - із середньо- і високовуглецевих сталей з температурою нагрівання 0,7...0,9 температури плавлення. Після відновлення тиском відповідальні деталі піддають термічній обробці.

При відновленні деталей пластичною деформацією (тиском) використовують пластичні властивості металу, здатність при деяких умовах деформуватися під навантаженнями, не втрачаючи цілісності деталі.

Під тиском змінюється не тільки форма і розміри деталі, але й структура та механічні властивості металу. Пластична деформація металу в холодному стані



зміцнює метал і це називається наклепом металу. У цьому випадку твердість, міцність і границя текучості металу підвищуються, а пластичність зменшується. Але ці зміни не дуже постійні, тобто зрушення і порушення в кристалічній структурі металу піддаються відновленню.

Обробка металів тиском при температурі нижче температури рекристалізації називається холодною обробкою, а при більш високій температурі - гарячою обробкою. У цьому випадку обробку починають при температурі, значно вище температури рекристалізації. Цим уникають появи наклепу і виникнення тріщин.

На властивості металу впливають залишкові напруження, що виникають від неоднакової деформації різних частин деталей. Вони викликаються і неоднорідним складом металу, а також різним нагріванням і охолодженням різнорідних частин деталі. Залишкові напруження можуть підсумуватися з напруженнями, викликаними зовнішніми силами, сприятливо або несприятливо, збільшуючи або зменшуючи міцність деталі. Під дією залишкових напружень деталь може пожелобитися, тріснути і т.д. Для усунення напружень деталь піддають віджигу або нормалізації. При цьому температура вище температури рекристалізації.

Для обробки поверхонь обкатуванням і розкочуванням найчастіше використовують токарні або карусельні верстати, застосовуючи замість різального інструменту обкатування та розкочування. Супорти забезпечують необхідний рух подачі. Розкочування можна встановлювати в пінолі задніх бабок. Глибокі отвори розгортають на верстатах для глибокого свердління. Так як нагрівання заготовок у місцях контакту з інструментом незначний, охолодження не потрібно. Для зменшення тертя використовують змазування веретенним маслом або гасом. Обкатуванням і розкочуванням лише в незначному ступені виправляють погрішності попередньої обробки. Тому попередня обробка заготовок повинна бути точна з урахуванням змінання мікронерівностей і зміни остаточного розміру деталі. Вирішальне значення в досягненні необхідної якості поверхневого шару має тиск на поверхню.

Надмірно великий тиск так само, як і велика кількість проходів інструмента, руйнує поверхню і може привести до відшаровування її окремих ділянок.

Ремонт зношених деталей за допомогою пластичних деформацій вимагає спеціальних пристосувань і штампів, тому є економічно виправданим тільки в тому випадку, коли ремонтується багато однотипних деталей.

### **3.2 Вимоги, які ставляться до розробок**

Конструкції пристроїв для обкатування кульками повинні відповідати таким вимогам:

- простота у виготовленні;
- надійність в роботі;
- використовувати деталі з різним профілем;
- пристрій повинен знижувати витрати праці при обкатуванні робочих поверхонь;
- відповідати вимогам пожежної і електробезпеки;

### **3.3 Будова і робота пристроїв для обкатування кулькою деталей**

Для обкатування сферичних поверхонь, що обробляють, по методу копіювання і обводу, нами запропонований багатокульковий планетарний обкатник (рис. 3.1), який встановлюють у шпинделі вертикально-фрезерного верстата і обертають із заданою швидкістю; подача здійснюється завдяки обертанню деталі, установлюваної в ділильне пристосування, що обертається від механізму подач. Опорний ролик приводиться в зіткнення з деталлю (аналогічно самоустановлювальній опорі) і фіксується. Під час обкатування роблять рясне охолодження. Швидкість обкатування 100 - 200 м/хв, максимальна подача на одну куля 0,005 мм/об.

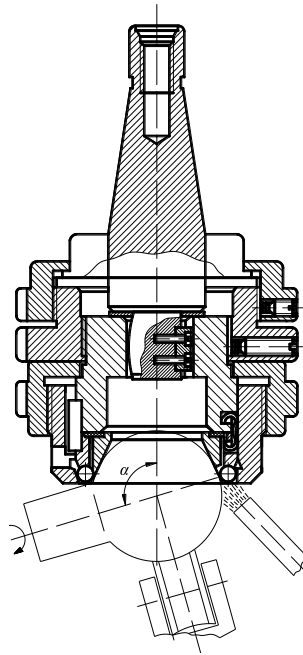


Рисунок 3.1 - Планетарна головка для обробки сферичної поверхні

Найбільш універсальний, але і найменш продуктивний розроблений нами однокульковий розкатник (рис. 3.2). Його застосування економічно виправдане в індивідуальному і дрібносерійному виробництві. Такий розкатник може застосовуватися для обробки як циліндричних, так і конусних та фасонних отворів. Розкатник складається з оправлення 6 з кулею 1 шарнірно закріплено в корпусі 5, установленому в супорті токарного верстата, і перебуває під тиском тарованої пружини 3, стиск якої регулюється за допомогою пробки 4. При розкочуванні попередньо розточених конусних або профільних поверхонь із поздовжньою подачею раскатника копиром є сама оброблювана поверхня заготовки 2; деяке коливання величини тиску розкочування при чистовій обробці тиском порівняно мало позначається на шорсткості поверхні. Воно стає помітним лише при більших перепадах радіусів на різних ділянках уздовж утворюючої оброблюваного отвору.

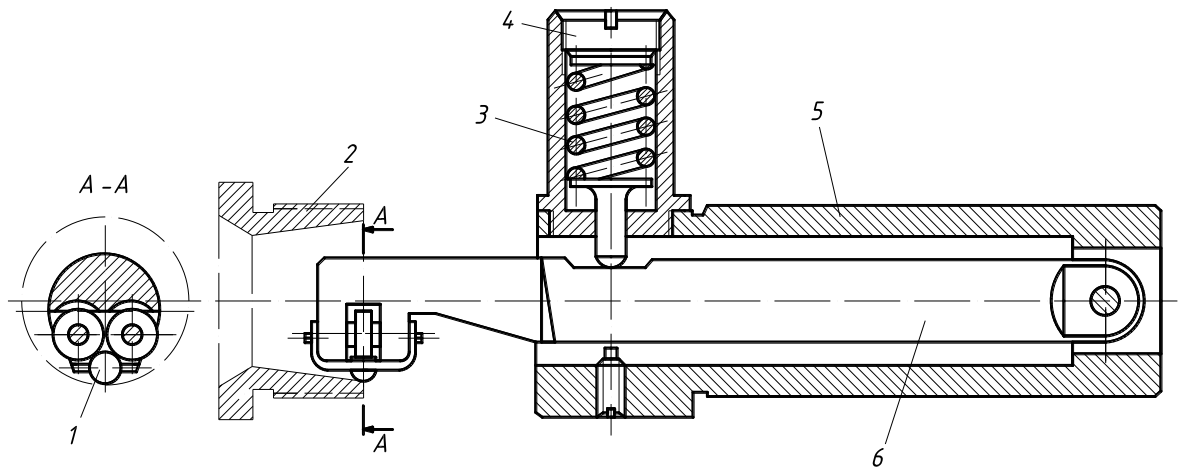


Рисунок 3.2 - Однокульковий розкатник пружної дії

### 3.4 Розрахунки опорної планетарної головки

У якості опорних роликів в опорній планетарній головке приймаємо голчасті підшипники, що обертаються із частотою обертання оброблюваної деталі. Їх необхідно розрахувати на динамічну вантажопідйомність (рис. 4.3).

Вихідні дані:

- необхідно підібрати радіальний голчастий роликпідшипник з номінальною довговічністю  $L_h = 15000$  год;
- зусилля обкатування  $P_{обк} = 7250$  Н;
- характер навантаження на підшипник – поштовхи і вібрація;
- частота обертання  $n = 127$  об/хв.

Еквівалентне навантаження на підшипник:

$$P_d = \frac{P_{обк}}{n \times \cos 45}, \quad (3.1)$$

де  $n$  – число підшипників у планетарній головці,  $n = 2$  шт.

$$P_d = \frac{7250}{2 \times 0,707} = 5130 \quad (\text{Н}),$$

Необхідна динамічна вантажопідйомність по формулі:

$$C = K_c \times P_d, \quad (3.2)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт вантажопідйомності,  $K_c = 2,2$ .

$$C = 2,2 \times 5130 = 11286 \text{ (Н)}.$$

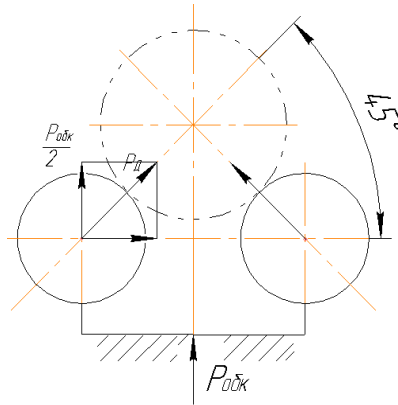


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема

Приймаємо підшипник надлегкої серії 4 074 904 ГОСТ 4657-71, динамічна вантажопідйомність якого  $C = 12000$  Н.

Дійсна довговічність підшипника по формулі (3.3):

$$L = \left( \frac{C_a}{P_0} \right)^3, \quad (3.3)$$

$$L = \left( \frac{12000}{5130} \right)^3 = 12,7 \text{ (млн. об)}.$$

Довговічність підшипника в годинах по формулі (3.4):

$$L_h = \frac{10^6 \times L}{60 \times n}, \quad (3.4)$$

$$L_h = \frac{10^6 \times 12,7}{60 \times 127} = 167 \text{ (тис. год)}.$$

## ВИСНОВКИ

В представленій науково-дослідній роботі проведено аналіз сучасного стану застосування методів поверхневого пластичного деформування та обґрунтовано існуючі способи обкатування кульками деталей, такі як обкатування і розкочування поверхонь заготовок, калібрування отворів, вібронакатування і наклепування інструментами відцентрово-ударної дії. Зазначені основні параметри зміцнюючого шару обкатаного кульками показали, що обкатування кульками є перспективним способом підвищення надійності і довговічності деталей сільськогосподарської техніки.

В експериментальних частині роботи досліджено шорсткість поверхневого шару після обкатування кульками. Виявлено, що якість поверхневого шару залежить від сила обкатування, так як збільшення сили до значення більшого, ніж критичне, для даного матеріалу призводить до перенаклепу, руйнування поверхневого шару металу і, як наслідок, - до збільшення параметра шорсткості поверхні.

Досліджено вплив режимів обкатування кульками на зміцнення сталей. Визначено, що обкатування слід проводити в один прохід. Тільки при тисках значно нижче оптимальних доцільно застосовувати два-три проходи. У ряді випадків для отримання необхідного ступеня зміцнення за один прохід необхідно зменшувати подачу.

Результати дослідження твердості в поверхневому шарі загартованих і обкатаних зразків показують, що товщина наклепу визначається тиском і розмірами площі контакту, а також структурою і властивостями матеріалу.

Розроблена технологія обкатування кульками і пристрої для її здійснення, такі як планетарна головка для обробки сферичних поверхонь і однокульковий розкатник. Його застосування економічно виправдане в індивідуальному і дрібносерійному виробництві. Такий розкатник може застосовуватися для обробки як циліндричних, так і конусних та фасонних отворів, що зустрічаються в деталях сільськогосподарської техніки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гун И.Г. Совершенствование процессов деформирования в технологической системе «сталь-прокат-изделия-узлы» с целью обеспечения конкурентоспособности шаровых шарниров Текст: дис. д-ра техн. наук: 05.16.05 / Гун Игорь Геннадьевич. - Магнитогорск, 2000.
2. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров / И.Г. Гун. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 416 с.
3. А.с. 273241 СССР, С21D7/04. Устройство для обкатки деталей с неполной шаровой поверхностью / Е.Г. Коновалов, А.И. Фломенбит // Открытия. Изобретения. 1970, №20.
4. А.с. 353810 СССР, В24В39/04. Устройство для накатывания сферических поверхностей / И.М. Натапов // Открытия. Изобретения. 1972, №30.
5. Горохов В.А. Обработка деталей пластическим деформированием / В.А. Горохов. - Киев: Технша, 1978. - 192 с.
6. ГОСТ 19300-86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры Текст. Введ. 01.07.1987.-М.: Изд-во стандартов, 2008.- 21 с.
7. Катунин А.А. Анализ способов планетарной обкатки неполных сферических поверхностей / А.А. Катунин // Журнал. Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008. - №7. - С. 24-26.
8. Катунин А.А. Моделирование процесса обкатки сферической головки автомобильного шарового пальца / А.А. Катунин // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». - Орел: ОрелГТУ, 2008. - №3-7(546). - С. 53-56.
9. Катунин А.А. Моделирование процесса ротационной обкатки неполных сферических поверхностей шаровых пальцев / А.А. Катунин, Ю.С. Степанов // Журнал. Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008. №10. - С.16-19

10. Катунин, А.А. Определение круговой подачи при обкатке сферических поверхностей / А.А. Катунин // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». -Орел: ОрелГТУ, 2009. - №2-3/274(560). - С. 64-69.

11. Папшев Д.Д. Упрочение деталей обкаткой шариками / Д.Д. Папшев. - М.: Машиностроение, 1988. - 132 с.

12. Гунн И.Г. Применение планетарной обкатки при чистовой обработке сферической поверхности шаровых пальцев / И.Г. Гунн, О.С. Железков, И.А. Михайловский и др. // Перспективные материалы, технологии, конструкции: Сб. науч. тр. - Красноярск, 1999. - Вып. 5. - С. 331-332.

13. Репина Л.Д. Формирование микрорельефа цементованной поверхности при обкатке шариком / Репина Л.Д., Лептова А.И., Зыкова Н.И. // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: Сб. науч. тр. - Кемерово: КузПИ, 1975. - С. 150-154.

14. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский. - М.: Машиностроение, 2002. – 215 с.

15. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. - М.: Машиностроение, 2000. - 320 с.

16. Теоретические основы процессов поверхностного пластического деформирования / Под ред. В.И. Беляева. - Минск: Наука и техника, 1988. -188 с.

17. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением / Ю.Г. Шнейдер. - С.-Пб.: Политехника, 1998. - 414 с.

18. Бутаков Б.И. Оценка точности определения глубины наклепа при поверхностном пластическом деформировании / Б.И. Бутаков // Вестн. машиностроения. - 1982. - № 11 - С. 22-24.

19. Бутаков Б.И. Обкатывание роликами шкивов клиноременных передач / Б.И. Бутаков // Станки и инструмент. – 1983. – № 2. – С.28.

20. Бурковський І.Д. Оснащеність аграрного сектору АПК технікою та забезпечення ефективного її використання в умовах становлення ринкових



відносин / І.Д. Бурковський, О.М. Гаркуша, І.В. Гончаренко. – К.: ІАЕ УААН, 2000. – 184 с.

21. Бутаков Б.И. Исследование и разработка технологии обкатывания шариками деталей сельскохозяйственной техники / Б.И. Бутаков, В.Н. Шумилов // Эффективность реализации научного ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: сб. научн. трудов. – К., 2013. - С. 222 - 223.

22. ДСТУ 3008-2015. Документація. Звіти в сфері науки й техніки. Структура й правила оформлення.

## Анотація

**Актуальність.** У сучасній техніці існує велика група деталей, конструктивним елементом яких є неповна сферична поверхня (НСП): кульові пальці автомобільних кульових шарнірів, наконечники рульових тяг, сферичні вкладиші бойків механізмів ударної дії, кулькові підп'ятники, сферичні наконечники штоків, стійки зі сферичними головками сферичних з'єднань важільних механізмів, штоки клапанних механізмів зі сферичними головками та інші.

Найбільш характерним представником деталей цієї групи є автомобільний кульовий палець, який входить до складу кульових шарнірів-найбільш відповідальних вузлів підвіски сучасних автомобілів, що визначають безпеку їх експлуатації. Щорічні обсяги виробництва автомобільних кульових пальців обчислюються десятками мільйонів штук на рік.

Незважаючи на успішні результати українських і зарубіжних дослідників в області поверхневого пластичного деформування металів (ППД), широке застосування даного методу для обробки неповних сфер стримується через відсутність науково обґрунтованих методик визначення параметрів процесу обкатки та якості отримуваних деталей.

Підвищення якості деталей обкаткою може бути досягнуте за допомогою застосування технології, що використовує прогресивні багатоккулькові безсепараторні обкатники, що містять максимальну кількість деформуючих елементів. Для її реалізації необхідно відповідне технологічне забезпечення. Тому розробка високопродуктивної технологічної оснастки, нових способів обробки, нових методик розрахунку параметрів процесу обкатки та характеристик якості формованих сферичних поверхонь є досить актуальною темою.

Активний розвиток машинобудування свідчить про гостру необхідність розробки в сучасному машинобудуванні принципів і шляхів здійснення різних

видів локальної обробки поверхонь деталей машин і, перш за все, обкатування кульками.

**Метою** роботи є підвищення надійності і довговічності деталей сільськогосподарської техніки шляхом розробки технології зміцнення за допомогою поверхневого пластичного деформування обкатуванням кульками.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес ремонту зношених деталей сферичної форми сільськогосподарської техніки.

**Предмет дослідження** - Технологія відновлення спрацьованих деталей за допомогою пластичної деформації.

**Методи дослідження** – теоретичні дослідження виконані з використанням положень теорій ймовірності, надійності, механізмів машин, тертя, математичного моделювання, прогнозування.

#### **Завдання наукової роботи:**

1. Провести аналіз сучасного стану застосування методів поверхневого пластичного деформування та обґрунтувати існуючі способи обкатування кульками деталей.
2. Експериментально дослідити вплив обкатування кульками на властивості зміцненого шару.
3. Провести дослідження шорсткості поверхневого шару і вплив режимів обкатування кульками на експлуатаційні показники.
4. Розробити технологію і конструкції пристроїв для обкатування кульками деталей сільськогосподарської техніки.

**Використана методика дослідження.** Експериментальні дослідження виконані по загальних і розроблених методиках з використанням сучасних приладів та засобів вимірювання в лабораторії кафедри технічних систем та технологій тваринництва та кафедри технологічних систем ремонтного виробництва ННІ технічного сервісу ХНТУСГ.

Обробка результатів досліджень проведена з використанням методів теорії ймовірності й математичної статистики за допомогою сучасних обчислювальних засобів і пакета прикладних програм.

**Структура й обсяг наукової роботи.** Робота складається зі вступу, розділів, висновків, викладена на 30 сторінках машинописного тексту, включає 21 рисуноків, 1 таблицю, 22 використаних наукових джерел.

Робота оформлена відповідно до вимог і правил, передбаченими стандартом ДСТУ 3008 – 2015 [ 22].

**Ключові слова:** кульковий палець, відновлення, зміцнення, поверхнєве пластичне деформування, однокульковий розкатник.