

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.11 – МР.2398«С»2023.12.29. 011 ПЗ

ЛІНКЕВИЧ ВОЛОДИМИР ЛЕОНІДОВИЧ

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет конструювання та дизайну

УДК 656.11(477.42)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
технічного сервісу та інженерного
менеджменту імені М. П. Момотенка

_____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис)

— ” _____ 2024 р. _

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Удосконалення технології поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Освітня програма «Обладнання лісового комплексу»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

кандидат технічних наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання) _____
(підпис)

Олександр БАННИЙ
(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф. _____
(підпис)

Іван РОГОВСЬКИЙ

Виконав _____
(підпис)

Володимир ЛІНКЕВИЧ

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту
імені М. П. Момотенка**

проф., д.т.н. _____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис)

—29— грудня 2023 року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Володимиру ЛІНКЕВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Освітня програма «Обладнання лісового комплексу»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
Тема магістерської роботи: Удосконалення технології поверхневого зміцнення деталей
обладнання лісового комплексу

затверджена наказом ректора НУБіП України від —29— грудня 2023 р. №2398 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру 25 жовтня 2024 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи: параметри технологічного процесу поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу, конструкція існуючих робочих органів машин технологічного процесу поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Удосконалити технологічний процес поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу і обґрунтувати нову технологічну схему.
2. Розробити математичну модель взаємодії технологічного процесу поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу, що враховує особливості виробничих умов.
3. Обґрунтувати основні технологічного процесу поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу.
4. Розробити технологічний процес поверхневого зміцнення деталей обладнання лісового комплексу, провести експериментальні дослідження, визначити агротехнічні показники його роботи, розробити рекомендації щодо впровадження у виробництво, оцінити економічну ефективність.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання —29— грудня 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
(підпис)

_____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

Володимир ЛІНКЕВИЧ

Реферат

Магістерська робота на тему: «Удосконалення технології поверхневого армування елементів лісогосподарського обладнання».

Актуальність теми. Одним із реальних шляхів підвищення надійності та довговічності машин є отримання специфічних властивостей поверхні деталей при обробці, в тому числі методами поверхневого армування. Технологічні можливості процесів поверхневого пластичного деформування в поєднанні з високою ефективністю операцій зміцнення роблять їх найсучаснішими і перспективними методами зміцнення деталей машин.

Актуальними залишаються дослідження, спрямовані на вдосконалення відомих і розробку нових високоефективних методів зміцнення деталей машин для забезпечення високого рівня їх експлуатаційних властивостей.

Мета і завдання. Підвищення експлуатаційних характеристик елементів обладнання лісогосподарського комплексу шляхом створення специфічних параметрів армування поверхневих шарів технологічними методами. Для цього вам знадобляться:

1. Визначити зв'язок між технологічними параметрами процесу та властивостями армованого шару.
2. Визначення впливу ступеня пластичної деформації поверхневого шару на міцність деталі.
3. Визначити рівень залишкових напружень у поверхневих шарах після пластичного деформування.
4. Розрахувати оптимальні технологічні параметри режиму зміцнювальної обробки.

Об'єкт дослідження.

Технологія підвищення зносостійкості елементів лісогосподарського обладнання.

Предмет дослідження.

Схема проектування показників якості поверхневого шару на прикладі обробки «важільної» деталі.

Практичне значення наукових результатів.

Покращення експлуатаційних характеристик важільної частини шляхом пошуку та аналізу існуючих технологічних прийомів, що забезпечують конкретні параметри армування поверхневих шарів.

Анотація

Магістерська робота на тему: «Удосконалення технології поверхневого армування елементів лісгосподарського обладнання».

Актуальність теми. Одним із реальних шляхів підвищення надійності та довговічності машин є отримання специфічних властивостей поверхні деталей при обробці, в тому числі методами поверхневого армування. Технологічні можливості процесів поверхневого пластичного деформування в поєднанні з високою ефективністю операцій зміцнення роблять їх найсучаснішими і перспективними методами зміцнення деталей машин.

Актуальними залишаються дослідження, спрямовані на вдосконалення відомих і розробку нових високоефективних методів зміцнення деталей машин для забезпечення високого рівня їх експлуатаційних властивостей.

Мета і завдання. Підвищення експлуатаційних характеристик елементів обладнання лісгосподарського комплексу шляхом створення специфічних параметрів армування поверхневих шарів технологічними методами. Для цього вам знадобляться:

1. Визначити зв'язок між технологічними параметрами процесу та властивостями армованого шару.
2. Визначення впливу ступеня пластичної деформації поверхневого шару на міцність деталі.
3. Визначити рівень залишкових напружень у поверхневих шарах після пластичного деформування.
4. Розрахувати оптимальні технологічні параметри режиму зміцнювальної обробки.

Об'єкт дослідження.

Технологія підвищення зносостійкості елементів лісгосподарського обладнання.

Предмет дослідження.

Схема проектування показників якості поверхневого шару на прикладі

обробки «важільної» деталі.

Практичне значення наукових результатів.

Покращення експлуатаційних характеристик важільної частини шляхом пошуку та аналізу існуючих технологічних прийомів, що забезпечують конкретні параметри армування поверхневих шарів.

Вступ

Нині в машинобудуванні відбувається модернізація, метою якої є суттєве підвищення як ефективності виробництва, так і конкурентоспроможності продукції, що випускається. Розвиток передових технологій забезпечується в основному закупівлею імпортного обладнання та інструменту і меншою мірою впровадженням нових технологічних процесів.

Крім традиційних вимог до постійного підвищення продуктивності, точності і якості обробки деталей, все більше висувається умова екологічності їх виробництва. При цьому вимога до екологічного виробництва стосується не тільки комфортності умов праці, а й зниження матеріало- та енергоємності продукції, що безпосередньо впливає на її рентабельність і конкурентоспроможність.

Порівняно з фінішними операціями з використанням абразивного інструменту та примусового охолодження зони різання процеси пластичної поверхневої деформації (PPD) є екологічно кращими.

Процеси обробки арматури як метод очищення поверхонь деталей машин постійно розвиваються. При обробці методами поверхневої пластичної деформації (ППД) відбувається міцний контакт деформаційного інструменту з поверхнею заготовки в умовах їх відносного переміщення.

У ході дослідження проведено порівняльний аналіз існуючих методів поверхневого пластичного деформування та обрано оптимальний спосіб технологічного забезпечення зміцнення поверхневого шару деталей машин.

Зміст

Реферат	4
Анотація	6
Вступ	8
РОЗДІЛ 1	11
1.1 Опис проблеми	11
1.3 Анасходження	16
1.3.1 Матокатичні Методи	16
1.3.2 Методи амішів	18
1.4 Специфіка вибору методів зміцнення деталей ППД	22
РОЗДІЛ 2	25
2.1 Деякі вхідні дані	25
2.2 властивості частини	25
2.3 вибір методів ППД	28
2.3.1 Складна пластична деформація поверхні.	31
2.3.2 Пластична деформація поверхні внаслідок використання відцентрова притирка	34
2.3.3 ППД для поперечного притирання плоскими плитами.	36
2.3.4 Обробка та загартування коливальним вигладжуванням. 38	
2.4 Зміцнення поверхні виробів складної форми внизкладні моделі деформацій	43
2.5 Від стабільність механічних властивостей пластично деформованих матеріалів верхнього шару від параметрів процесу	50
2.6 Вплив параметрів процесу PPD на технологічну спадковість	53
2.7 Докатання предмета роликком. Напружено – деформований стан Пвищий клас	59
2.8 Ізостатичний метод ППД	61
2.9 випрямлення за допомогою ультразвуку	66
2.10 Висновки з розділу	71
РОЗДІЛ 3	72

3.1 Стан пружної деформації в центрі деформації. Глибина пружно деформований шар	72
3.2 Удосконалення процесу прокатки деталі роликом	76
3.3 Оцінка ресурсу пластичності, використаного у верхньому металевому шарі	77
3.4 Висновки до розділу.....	77
РОЗДІЛ 4.....	78
4.1 Розробка стартап проекту	78
4.2 технологія проекту	79
4.3 Деякі збільшення попиту на продукцію.....	79
4.4 Розробка ринкових стратегій.....	83
4.5 Розробка маркетингової програми	85
4.8 висновки	87
ВИСНОВКИ	88
Літературні джерела	89

РОЗДІЛ 1

1.1 Постановка проблеми

У нас є ряд деталей із подібними властивостями та матеріалами, поверхні яких необхідно зміцнити для подальшого використання. Необхідно виконати додаткові операції для зміцнення матеріалів поверхні

1.2 Фізичні основи зміцнення металів

Метали — це кристали з тривимірною періодичністю атомів. Геометрична модель такої структури має вигляд тривимірної решітки, в якій розміщені атоми. Залежно від типу розташування атомів у кристалічній решітці металеві конструкції поділяються на декілька типів. У той же час більшість металів мають об'ємноцентровану кубічну ґратку, гранецентровану кубічну решітку або гексагональну решітку.

Сили відштовхування і притягання між атомами забезпечують стійкість кристалічної решітки. Енергію взаємодії між двома атомами в кристалічній решітці можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$U = \left(-\frac{A}{r^m}\right) + \left(\frac{B}{r^n}\right)$$

де A і B = константа; m і n - показники ступеня розтягуючих і стискаючих зусиль (за умови, що n завжди більше m); r - відстань між атомами в кристалічній решітці.

Найменше універсальний вони там енергії $U = U_0$.

З урахуванням цих умов рівняння (1) набуває вигляду рівняння сполучної сили:

$$\frac{dU}{dr} = P = \frac{Am}{r_0^{m+1}} \left[\left(\frac{r_0}{r}\right)^{m+1} - \left[\left(\frac{r_0}{r}\right)^n - 1\right] \right]$$

де P — рівномірна сила між атомами.

Під дією зовнішніх напруг відбувається зміна кристалічної решітки.

Зміна потенціальної енергії та сили P .

Застосування формули (2) показує, що напруги необхідні застосувати до ідеального кристала для деформації $\Delta P/P$, значно (на два-три) разів перевищують напруги, виміряні експериментально в звичайних матеріалах.

Сучасний погляд на структуру матеріалу, а саме наявність у ньому дефектів кристалічної решітки, пояснює різницю між фізичною та теоретичною міцністю.

Суттєвий вплив на руйнування та зміцнення металів при ППД мають структурні дефекти. Без розуміння того, як ці дефекти впливають на міцність металів, неможливо зрозуміти фізичну природу зміцнення. Кристалізація металу, термічна обробка або РPD можуть спричинити появу цих дефектів у кристалах. За геометричними ознаками їх поділяють на 4 групи: точкові, лінійні, площинні та об'ємні.

Розмір оптичних дефектів можна порівняти з розміром атома. На відміну від інших, у чистих кристалах можливі два типи точкових дефектів (рис. 1, а): міжвузлові атоми або вакансії.

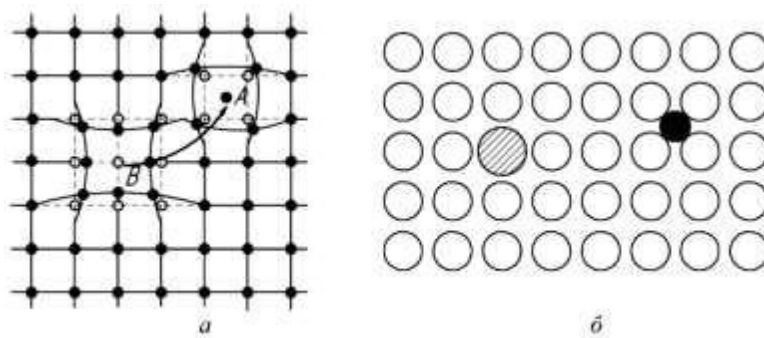


Рисунок 1.1. - Точкові дефекти в площині кубічної решітки: а – зміщені атомні вакансії А і В; б – домішкові атоми

Вакансії утворюються, коли атом видаляється з вузла решітки, а міжвузловий атом утворюється, коли атом вводиться в міжвузловий простір.

Утворення атомів і міжвузлових вакансій пов'язане зі здатністю атомів, що знаходяться в положенні рівноваги, залишати це положення під впливом зовнішньої енергії.

Положення, яке створює порожнину (вакансію) у вузлі кристалічної решітки, а сам атом перетворюється на міжвузлевий атом. Більшість міжвузлових атомів і вакансій можуть збільшуватися при швидкому охолодженні металу, ППД, опроміненні променями високої енергії, магнітними полями і т. д. Наприклад, при пластичній деформації кількість

дефектів в кристалах можна розрахувати за такою формулою:

$$\frac{n}{N} = (10^{-5} \dots 10^{-6})\varepsilon$$

де n – максимальна кількість точкових дефектів рівноваги; N – кількість атомів; ε - процідити.

Дефекти в лінійній кристалічній решітці подібні за розміром до атомних дефектів у двох вимірах і мають значну протяжність у третьому вимірі. До таких типів дефектів відносяться дислокації, наприклад крайові та гвинтові.

Поверхневі дислокації - це дефекти, які мають значну протяжність лише в двох напрямках. До них відносяться межі розділу фаз, дефекти упаковки в кристалічній решітці, межі між субзернами, зернами, кластери дислокацій на площині тощо.

Об'ємні дефекти мають довжину в трьох вимірах. Вони включають ряд лінійних, точкових і поверхневих дефектів, які спотворюють кристалічну решітку у великих кристалічних об'ємах. До об'ємних дефектів відносять також наявність розподілених виділень, фаз, різноманітних включень, нерівномірний розподіл деформацій і напружень у макрооб'ємах.

Порушення в кристалічній решітці призводять до дефектів. Викривлення решітки можна виміряти за допомогою вектора Бюргерса (рис. 2), який характеризує сили, що діють на решітку, і енергію дислокації.

Вектор Бюргерса – це вектор, який необхідно ввести в ідеальний кристал (відрізок MQ на рис. 2, б).

Щільність дислокацій можна розрахувати за формулою

$$\rho = \frac{L_{\Sigma}}{V}$$

$$\rho = L_{\Sigma} / V$$

де ρ – густина дислокацій, $см^{-2}$

- L_{Σ} сумарна довжина існуючоїоїнії дислокації, м; V - об'єм, $м^3$.

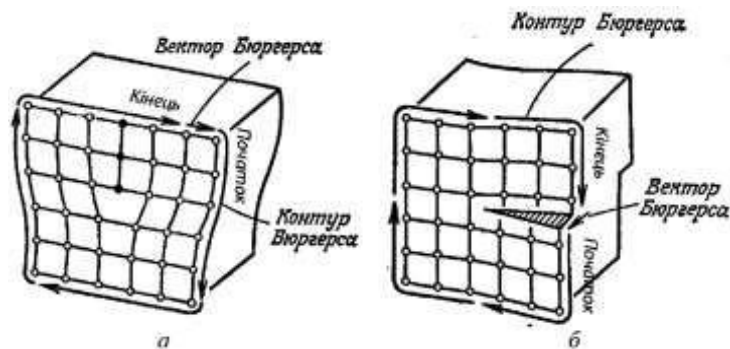


Рисунок 1.2. - Контур бургера: а - для зміщення краю; б - гвинтовий вивих

Відповідно до теорії дислокацій досліджуються механізми їх утворення. У полікристалічних кристалах кристали відрізняються своєю просторовою орієнтацією. Самі зерна містять субзерна, які містять блоки, дезорієнтовані під кутом 10° один до одного. Межі між блоками і зернами є джерелами зародження дислокацій.

Як видно з малокутової граничної діаграми (рис. 3), блокові мережі пружно з'єднуються у всіх сферах, крім тих, де виникають дислокації. Відстань між дислокаціями можна визначити за

$$D = \frac{b_0}{a_3}$$

b_0 - вектор Бюргерса;

a_3 - куточок плутанини

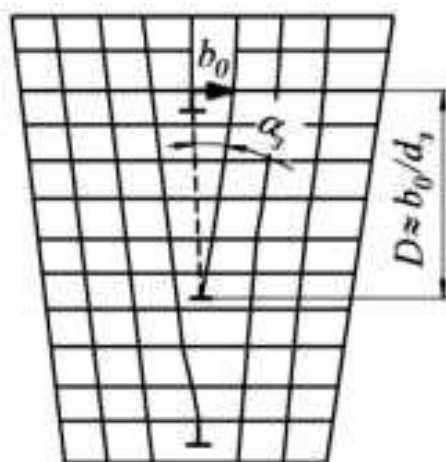


Рисунок 1.3. - Малокутова гранична діаграма: D – відстань між дислокаціями; b_0 - вектор Бюргерса;

a_3 - куточок плутанини

Дислокації, що утворюються при кристалізації за певних умов, розмножуються або зникають під час термічної обробки, пластичної деформації та інших дій. Модель розмноження дислокацій під час пластичної деформації, запропонована Франком і Рідом, показана нижче (рис. 1.4).

Інтервал переміщення $AB = L$ (рис. 1.4, а) фіксується на кінцях. На нього діє нормальна сила b . Під дією зростаючої напруги переміщення поводить себе подібно пружній нитці - вона згинається. Забезпечену компенсацію напруги можна визначити за формулою

$$\tau = 0,5 \text{ гБ/Р}$$

де G – модуль зсуву; b – вектор Бургера; R - радіус кривизни.

Критичне значення напруги
 $\tau_{\text{макс}}$

при відповіді

$P = \pi/2$ (Малювання)

1.4 Б). Збільшення довжини відбувається при напруженнях нижче $\tau_{\text{макс}}$

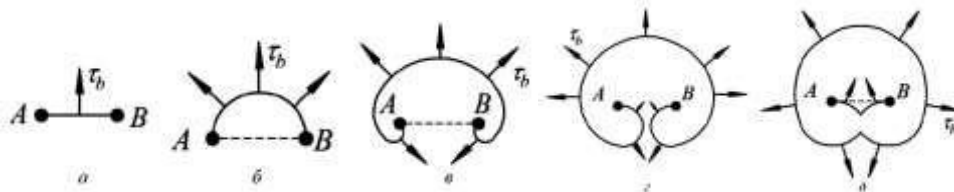


Рисунок 1.4. - Функціональна схема джерела Франка-Ріда

Майбутній цикл поширення дислокації зображено на рисунку 1.4, в, ж. Після закінчення циклу створюється заміненна дислокаційна петля, а ділянка АВ готується до створення нової петлі.

1.3 Аналіз

Однією з операцій, що виконуються на токарних верстатах, є поверхневе пластичне деформування (далі – ППД) – вид механічної обробки для зміцнення матеріалу, під час якого поверхневий шар виробу деформується без утворення зовнішньої та внутрішньої поверхонь або сколів. При обробці відбувається здавлювання і під тиском згладжуються мікронерівності, що в свою чергу знижує шорсткість поверхні до 9 класу точності. Після деформації підвищується твердість і зносостійкість, поверхня забруднюється. Дія ППД дозволяє поліпшити властивості деталей.

Пружна деформація і агрегатний стан поверхневого шару зумовлені ППД і локальним нагріванням під час обробки. При цьому на мікрорівні змінюється геометрія поверхні та змінюються фізико-механічні властивості поверхонь деталей, що обробляються. Поверхня, оброблена процесами PPD, у свою чергу, характеризується залишковими напругами стиску в поверхневому шарі, підвищеною твердістю та згладженими мікронерівностями. Тому підвищується втомна міцність, зносостійкість, корозійна стійкість тощо.

Методи PPD отримали широке застосування завдяки своїй економічності та простоті реалізації. Залежно від типу навантажень методи ППД можна розділити на статичні та динамічні.

1.3.1 Шматокатичні методи.

Інструмент, що деформується, або робоче середовище прикладає постійну силу до поверхні деталі при статичній обробці PPD, тоді як інструмент рухається рівномірно залежно від концентрації напруги на поверхні обробленої деталі. До статичних процесів належать такі процеси, як оправлення поверхні, прокатка, полірування, вібраційне полірування, вібраційна прокатка тощо.

Статичні методи армування з використанням роликів або кульок найчастіше використовуються як методи PPD для зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

Обертання або площина. Завдяки такому способу обробки можна посилити рух армуючого інструменту за допомогою вібрації, що дозволяє істотно поліпшити оброблюваність поверхні. При зміцненні прокаткою до поверхні робочих органів прикладається зусилля під дією сили при пружному притисненні робочих органів при терті кочення або в умовах безперервної деформації при жорсткому розташуванні робочих органів. відносно поверхні деталі. Цим способом можна створювати армуючий шар практично будь-якої товщини і застосовувати для будь-яких матеріалів без обмежень. До недоліків даного методу можна віднести залежність якості арматури від кваліфікації працівника, оскільки обробка проводиться в основному на універсальних верстатах з використанням спеціального обладнання, яке в свою чергу вимагає налагодження. Процес прокатки супроводжується зміною діаметра оброблюваної деталі в межах 0,005...0,03 мм, тому необхідно визначити відповідні допуски. Обробка поверхні інденторами з твердого металу або алмазу служить для тих же цілей, що і прокатка. Інструмент створює канавки і грані, розсовуючи метал. Після обертання запресованої частини утворена канавка переміщається в осьовому напрямку на відстань, рівну подачі. При цьому під час наступних оборотів вона щоразу перекривається, оскільки ширина щілини більше подачі. Завдяки РРД вихідні нерівності на обробленій поверхні згладжуються, після чого формується новий мікрорельєф поверхні, який має значно меншу висоту профілю нерівностей R і змінює розмір деталі на величину, що дорівнює залишковій деформації Δ . Завдяки малій площі контакту інструменту при обробці поверхні потрібно невелике зусилля, тому цей спосіб підходить для зміцнення тонкостінних деталей. Другою перевагою методу є можливість згладжування крихких і твердих покриттів і шарів. Метод згладжування має деякі спільні з попереднім способом недоліки. Свердління отворів є одним з основних методів поліпшення властивостей деталей. Задирки створюють залишкові отвори в поверхневому шарі під час обробки.

Напруга стиску шляхом проходження штифта безпосередньо через затискний отвір або через проміжні втулки. Для зручності зняття задирок поділяють на поверхневе та об'ємне. При об'ємній оправці пластична течія спостерігається по всьому перерізу деталі. Залежно від призначення штифт можна розділити на згладжувальний, калібрувальний і зміцнюючий. Існує також варіант гідропорна, в якому рідке мастило виділяється між обробленої поверхнею і поверхнями зубів хвостовика. Такі показники, як напруга, специфічні для шпильок; сила розтягу, швидкість і геометричні властивості самого штифта. Сила, прикладена до штифта, може бути як штовхаючим, так і тягучим. Після обробки оправлення отвори слід відкалібрувати різальним інструментом для забезпечення необхідної точності. За умови, що металеві шари, що деформуються, не торкаються пластини пристрою, остаточне потік металу та деформація розбухання будуть набагато більшими порівняно з деформацією на верхньому торці. Викривлення можна зменшити, якщо обробку проводити в пристроях, що забезпечують фіксацію заготовки на торцях. Додаткова механічна обробка матеріалу на окремих ділянках значно знижує ефект зміцнення. Буріння проводиться на вертикальних або спеціальних верстатах, горизонтально або спеціальним обладнанням. Подовжувач валу позначається літерою «D».

1.3.2 Методи амішів.

Динамічні методи механічної обробки включають дробеструйну обробку, віброструминну обробку, водоструминну обробку, кулькову та стержневу обробку жорсткості, ротаційну обробку, кування, ударну прокатку, вібраційне каландрування, вібраційну прокатку, ультразвукову обробку, механічну щіткову обробку, вібраційне згладжування та інші. При обробці динамічними методами РРД робоче середовище впливає на поверхню деталі, неодноразово стикаючись з нею. Сила зіткнень, у свою чергу, змінюється від найнижчого до найвищого значення в кожному циклі.

Одночасно всією поверхнею або послідовним переміщенням зони ураження по всій поверхні деталі, а також обробку окремих частин деталі, якщо потрібно точкове посилення. Найпоширенішим способом є дробеструйна обробка, яка заснована на використанні кінетичної енергії рухомого струменя, яка розсіюється стисненим повітрям, силою тяжіння або рідиною під тиском тощо. В якості робочого тіла використовується переважно сталевий лист, виготовлений з неметали або сплави кольорових металів, часто скло. Розміри зерен можуть варіюватися від 50 мкм до 6 мм, залежно від сфери застосування. Цей метод застосовують для зміцнення практично всіх видів деталей і металів для їх обробки на виробництві, а також для локальної обробки, складання або ремонту деталей. Це означає посилення удару – ШЗ. Якщо розгін кульок у замкнутому об'ємі досягається енергією стисненого повітря, то такий спосіб є пневмодинамічним і позначається ПЗ. Спосіб обробки, при якому використовується енергія зміцнювального середовища, називається барабанным ударом. Деталь попередньо встановлюють на кришки, що входять до стінок шестигранного або прямокутного барабана або по осі барабана. При обробці деталей з високоміцних матеріалів в якості робочого середовища використовують деталі кубічної форми з високоміцної сталі або алюмінієвих сплавів. Завдяки обертанню барабана під час обробки частинки середовища прискорюються, але у верхній точці вони відриваються від поверхні прискорення і падають на поверхню оброблюваної деталі, зміцнюючи її. Спосіб найбільш придатний для армування тонкостінних деталей каркаса з алюмінієвих сплавів. Він оптимальний для армування та контролю якості. Недоліком способу є мала глибина армованого шару в штабелі з його нерівностями на поверхні деталей через орієнтацію частин деталі відносно осі обертання барабана. Спосіб досить ефективний і позначається як БЖ. Особливістю віброударного методу ППД є використання енергії коливального середовища. Як робочі тіла використовують абразивні зерна, сталеві кульки та ін. Метод поміщають в ємність

Вібраційні установки робочого середовища і оброблюваних деталей піддаються механічним коливанням зі значними прискореннями до 10-15 g, що діють на робочі органи. Вони отримують достатньо енергії для завершення деталі РРД. Рух частинок в середовищі забезпечує рівномірну і стабільну величину наклепів і напруг. Метод характеризується високою продуктивністю, простотою і значними технологічними можливостями: можливістю обробки деталей будь-якої форми і розміру незалежно від матеріалу. Найкращих результатів дає віброзміцнення (ВЗ) сталевими кульками і називається вібронапінгом (ВН). Такий метод у наповнювачі з абразивних частинок називається віброшліфуванням (ВШ). Оскільки інтенсивність обробки при віброударному способі обмежена, то при необхідності великої глибини армування краще використовувати дробеструйний метод. Імпульсне шліфування (ІШ) полягає в зміцненні деталей, що піддаються деформаційним навантаженням, в ємності з абразивом. У цьому методі зміцнення РРД абразив знаходиться у вільному стані в контейнері та зберігає свій статичний стан під час руху завдяки своїй високій інерційній масі. Якщо абразив нерухомий, а деталь рухається вперед і назад у контейнері, абразив рухається поверхнею обробки, видаляючи метал. Об'ємна шліфувальна обробка здійснюється наступним чином. Оброблені деталі зміцнюються машинним очищенням. Амплітуда пульсації 80...150 мм, частота 200...500 коливань/хв. У виробництві деталей також використовуються численні процеси ударного зміцнення. До них відносяться: кування, відцентровий удар, загартування кульками, ультразвук та ін Процеси, які можна віднести до динамічних.

Ми розглянули багато способів зміцнення металевих деталей машин ППД. Кожен з використовуваних пристроїв призначений для вирішення тієї чи іншої технологічної задачі або кількох задач. Їх можна класифікувати, розділивши на п'ять груп

Характер деформації поверхні деталі в місці контакту з інструментом.

Класифікація методів і обладнання ППД наведена в табл. 1.

Рисунок 1.1 – Методи та пристрої ППД

група	Праці	методи зміцнення
I (статичний)	рулет	1-Катання валиком. 2-Катання з м'ячем. 3.Вібраційні катки поперечні колювання. вібраційні катки з поздовжньою вібрацією
II (статичний)	Армування зв'язаним ударним інструментом	1. тонік Щосанка гідравлічний привід 2. Посилення концентричності спневматичний привід 3. Посилення концентричності сміятися вночі Причина ідцентрова обробка з роликками. 5. Відцентрова обробка кульками.
III (статичний)	Залізо	1-Розгладжування кульковим кінчиком. 2. Гладка з конічним кінчиком.
IV (статичний)	шипи	1.Штифт проштовхує шпильку. 2.Потягніть стебло. вібраційним ударом. 3. Лікування вібраційним ударом.
V (динамічний)	Динамічне посилення	1-й обробка ударного імпульсу 2-й Вібраційно-відцентрова зміцнювальна обробка. 3.Фракціоноване гідрохолдинг. 4-промені гравітації. 5-гідрострумінний вони тампідівати. 6-й Гідробластна обробка. 7-й Пневмогідроструменева обробка. 8-й Пневматична обробка. Стрільба

Найбільш ефективним виявилось динамічне армування, при якому інструмент динамічно діє на оброблену поверхню деталі. Механічна обробка динамічними методами РРД, на відміну від статичних, дозволяє більшою мірою впливати на матеріали деталей, обробляти додаткові профілі форми та забезпечує особливу точність і якість поверхневого шару деталі.

1.4 Особливості вибору методів зміцнення деталей ППД

Фізико-механічні властивості зовнішнього шару деталі істотно відрізняються від внутрішніх. Відмінності можна пояснити спадковістю обробки або впливом певних умов експлуатації. Атоми, розташовані на поверхні деталі, характеризуються односпрямованими зв'язками з металами, що сприяє їх активації, в результаті чого поверхня деталі поглинає атоми оточуючих елементів. Дифузійні процеси в поверхневому шарі характеризуються наявністю сполук основного металу з речовинами, що проникають ззовні. У разі легуючих елементів існує ймовірність перерозподілу в поверхневому шарі, що згодом призводить до погіршення функціональних властивостей. Такі види зовнішніх впливів, як теплові, механічні, магнітоелектричні, світлові та інші, призводять до значного підвищення активації поверхневих шарів деталі, її корозії, ерозії, появи втомних тріщин, кавітації тощо. з часом, враховуючи негативний вплив при обробці деталей або складанні елементів конструкції, експлуатаційні характеристики поверхневих шарів значно погіршуються, що супроводжується появою поверхневих подряпин, подряпин, задирок, вм'ятин та інших дефектів. Навіть при ретельній механічній обробці важко запобігти утворенню на поверхні мікроподряпин, які є місцями концентрації напруги. У свою чергу, більш сприятливий мікрорельєф поверхні деталі може забезпечити додаткове зміцнення поверхні, створюючи на поверхні залишкові напруги стиску. В результаті підвищується міцність, опір роздиру, твердість і втомна міцність поверхні.

Поверхнєве зміцнення стиранням, залишковими напругами стиску та сприятливим мікропрофілем поверхні значно підвищує довговічність і властивості деталей порівняно з механічною обробкою, а також повністю або частково зменшує вплив шкідливих покриттів на довговічність і корозійне середовище та концентратори структурних напруг. Основним способом поверхневого зміцнення в даний час є армування ППД, яке полягає в створенні нерівномірності деформації поверхневого шару деталі в пластичній і пружно-пластичній сферах з подальшим створенням у цьому шарі високоінтенсивних напружень під час розвантаження. Потім ці внутрішні напруги врівноважуються низькоінтенсивними залишковими напругами розтягування в середніх шарах матеріалу. Технологія РРД може бути використана майже у всіх металевих конструкціях, особливо в субпідрядній та штамповій промисловості, складанні, механічній та металообробній промисловості та зварюванні. Багаторічними дослідженнями встановлено, що якість деталі з того чи іншого матеріалу більшою мірою залежить від стану поверхневого шару і меншою — від стану внутрішніх шарів матеріалу деталі. Тому однією з головних проблем, яку необхідно вирішити, є забезпечення високої міцності поверхневого шару при проектуванні та виготовленні конструкцій. Армування ППД бажано на всіх поверхнях деталей і вузлів, тому його доцільно застосовувати при експлуатації елементів конструкцій при повторних навантаженнях при розтягуванні, стиску, згині і крученні, а також при розтягуванні. Вибір інструментів для посилення ППД здійснюється виходячи з технологічних особливостей проекту з урахуванням таких умов: відповідність розмірів деталей можливостям обраного типу обладнання; - вид армування, технологія і обладнання вибираються в залежності від складності геометричних форм і можливості зміцнення без деформації форм - в залежності від жорсткості деталей. - за типом і глибиною ослабленого поверхневого шару можна визначити можливість його часткового або повного видалення або зміцнення.

На величину, що значно перевищує глибину ослабленого шару. При виборі методів і засобів зміцнення ППД необхідно враховувати технічні можливості досягнення мінімальної шорсткості та продуктивність самого обладнання. Матеріали робочих інструментів повинні характеризуватися більш високими фізико-механічними властивостями, ніж матеріали оброблюваних деталей, такими як: висока твердість, стійкість до ударних і абразивних навантажень, а також у випадку ППД високі межі міцності на стиск, низький коефіцієнт тертя на поверхні, висока теплоємність і теплопровідність, висока адгезивна здатність.

РОЗДІЛ 2

2.1 Деякі вхідні дані

Проблема забезпечення міцності поверхні деталей давно вирішена, але багато існуючих методів пластичного деформування поверхні мають недоліки:

- Підвищена внутрішня напруга
 - деформація поверхні
 - Нвисока швидкість обробки
 - складність роботи

Виходячи з існуючих проблем і наших можливостей, ми проаналізували існуючі методи РРД та обладнання та визначили найбільш оптимальний варіант для нашого типу деталей шляхом розрахунків та/або випробувань. Для порівняння наведено поширені методи РРД. Вирішується проблема якості кінцевої поверхні. Таким чином ми максимізуємо продуктивність наших деталей.

2.2 Властивості частини

У розділі розглядається питання армування поверхні конкретного типу деталей "«Важелі» зі сталевого матеріалу. Оскільки ці частини піддаються значним навантаженням під час роботи, необхідно визначити, який метод обробки є найкращим і за допомогою якого ми досягаємо найкращих показників корисності.

Ось кілька прикладів деталей, які потребують пластичної деформації поверхні:

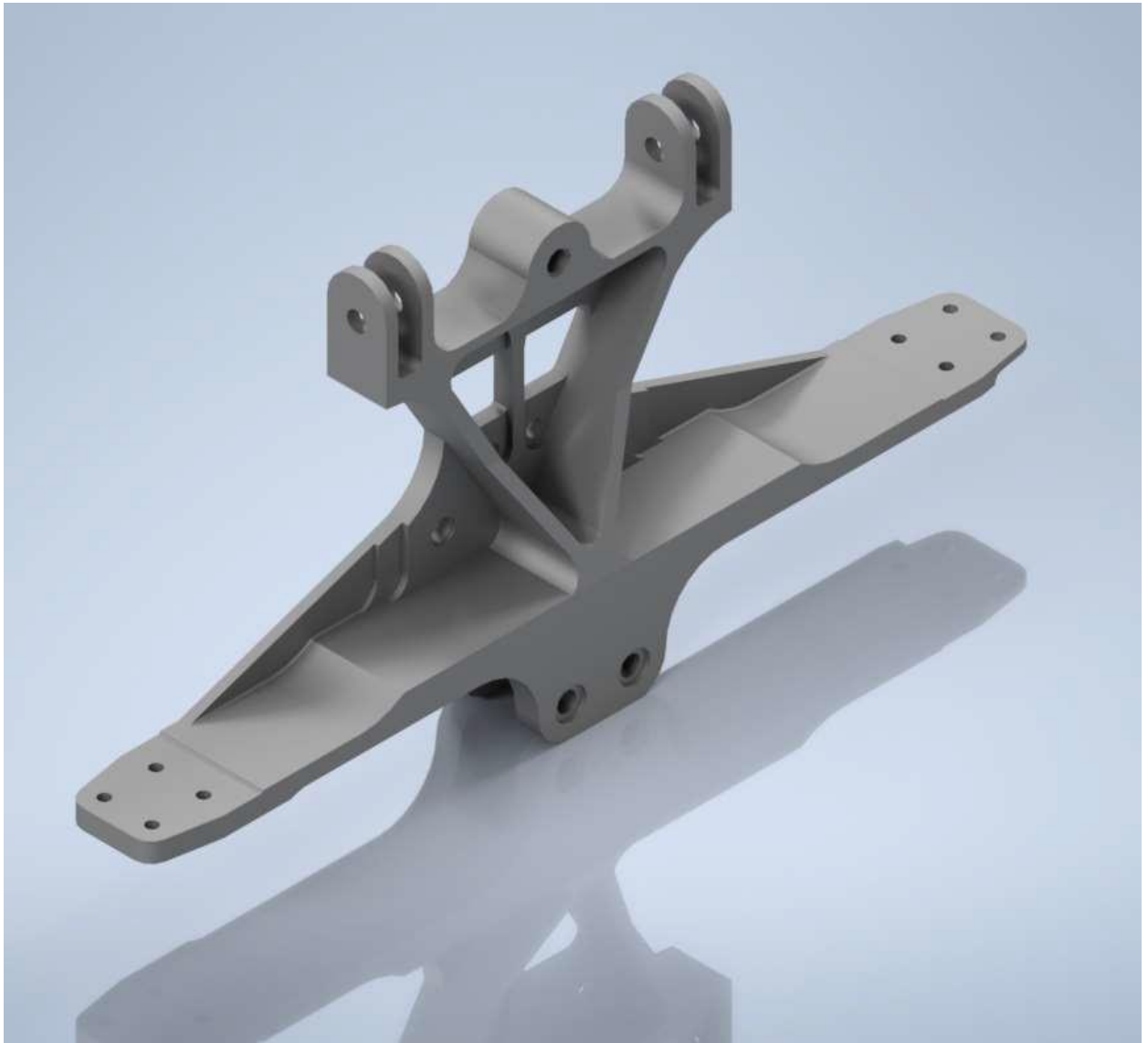


Рисунок 2.1. - Деталь «важеля».

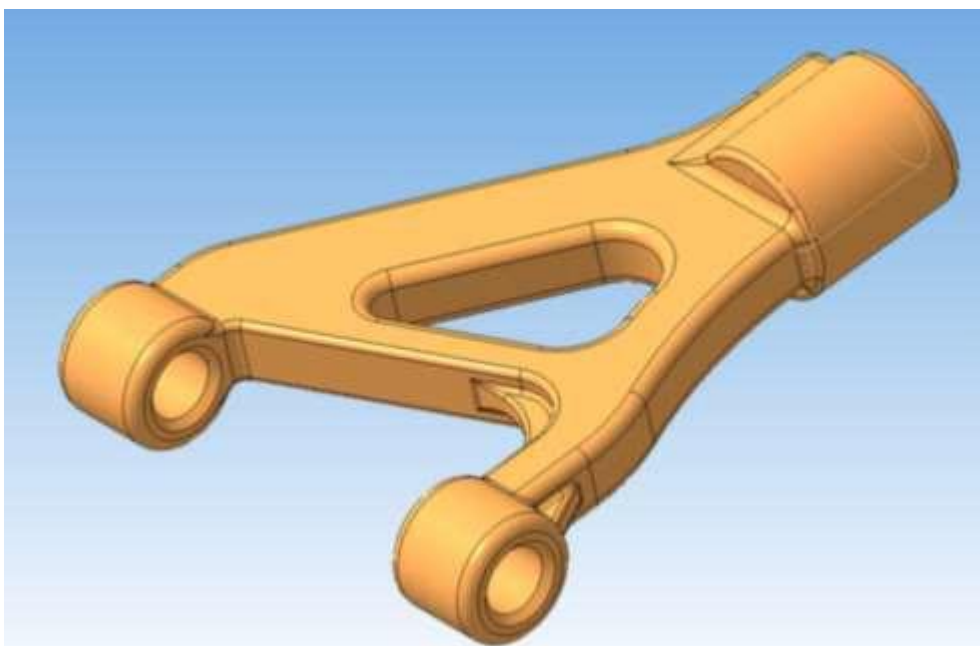


Рисунок 2.2.- Детальна інформація про «кредитне плече».

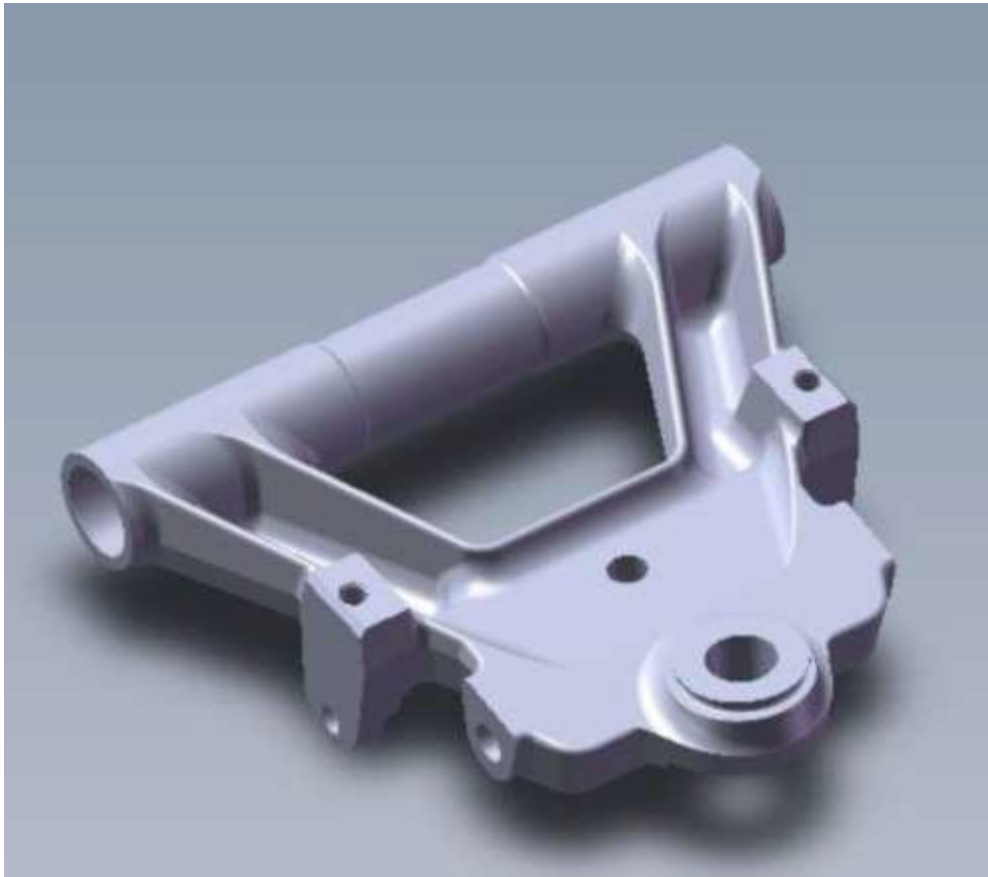


Рисунок 2.3. - Деталь «важеля».

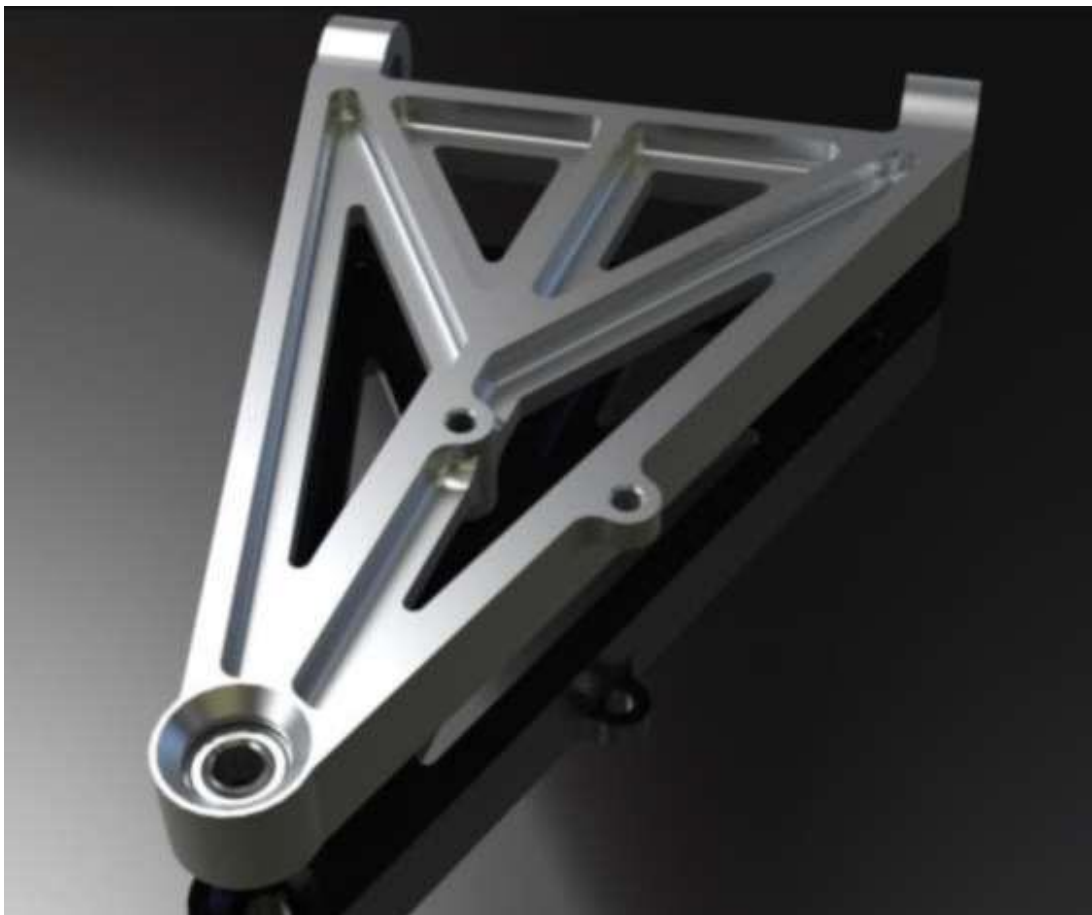


Рисунок 2.4. – Деталі кредитного плеча.

Усі перераховані частини виготовлені зі сталі та б/у в обладнанні лісового комплексу.

2.3 Вибір методів ППД

Давайте розглянемо існування привітчі об'єкти водиниця.

Опублікуйте робочі вимоги до окремих частин.

Вибір методу PPD та засобу PPD можна здійснити за такою схемою:

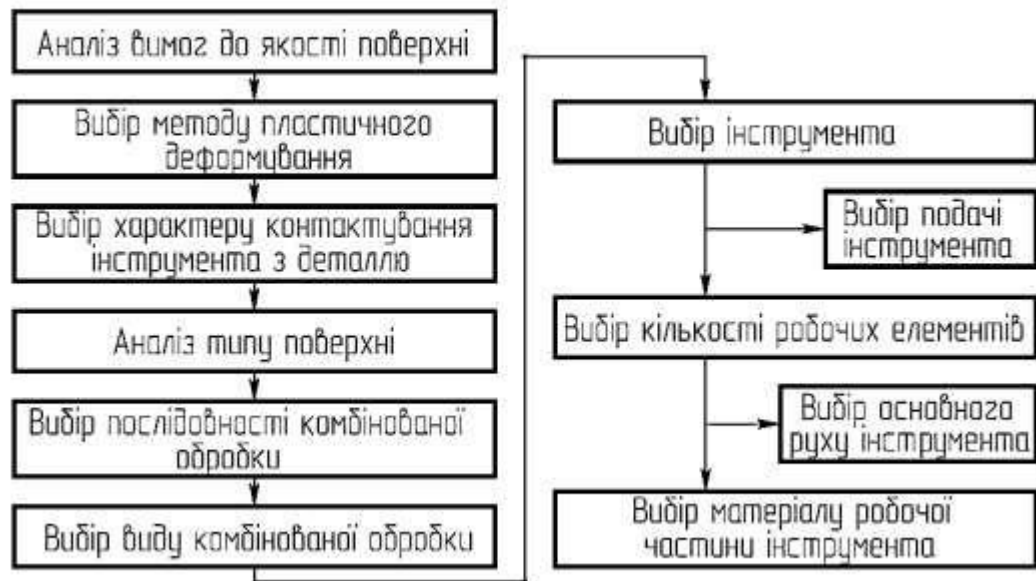
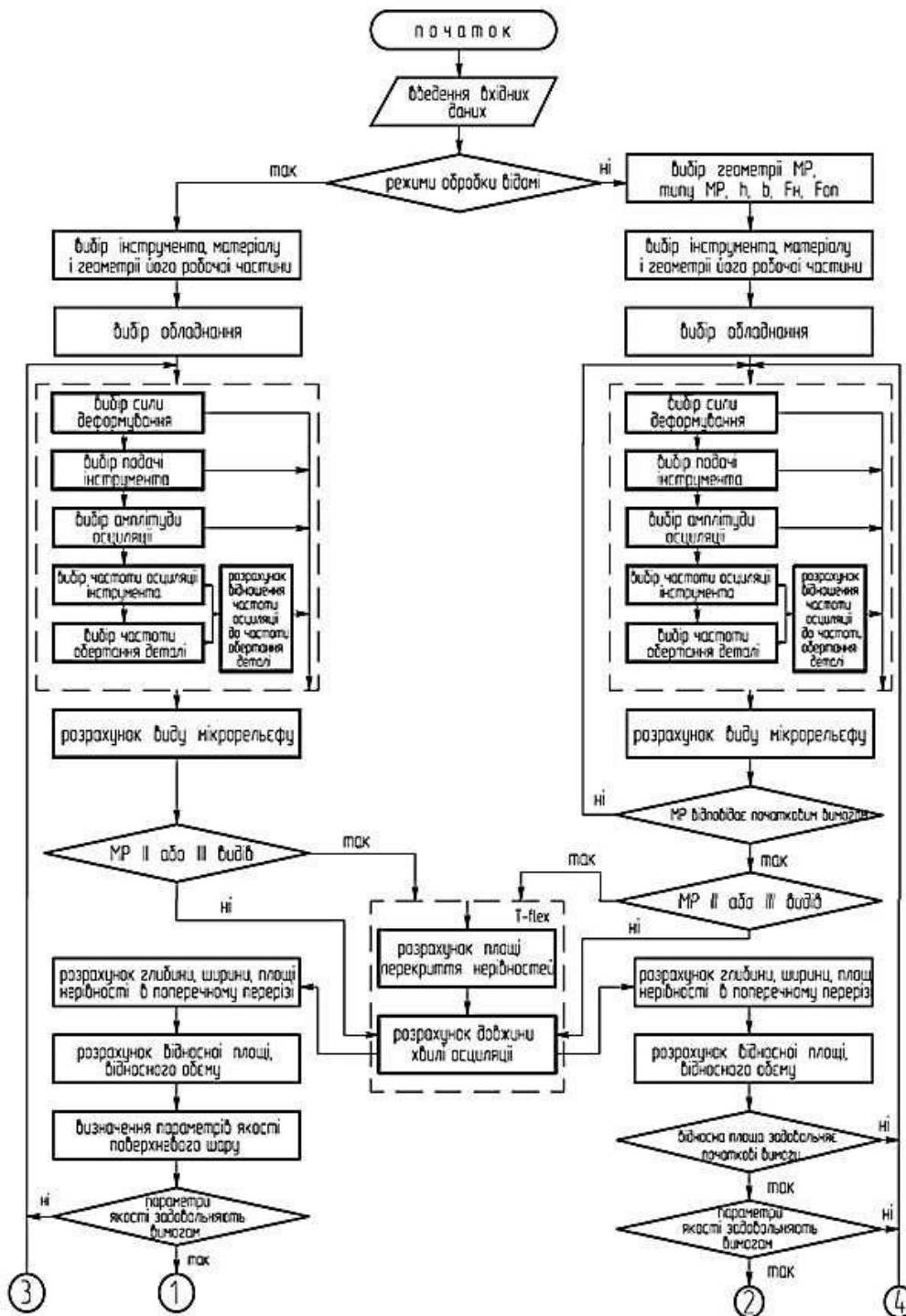


Рисунок 2.5. Алгоритм вибору методу обробки

Щоб покращити процеси обробки, операції пластичної деформації можна поєднувати з попередніми операціями різання або комбінувати різні методи PPD для досягнення кращих властивостей. Для кінцевої механічної обробки, яка є входом до пластичної деформації в промисловості, можуть використовуватися такі інструменти: відрізни верстати, шліфувальні круги, відрізни верстати. В якості інструментів для ППД можна вибрати загладжувальні верстати різної форми, кульки, валики, пробійники, штифти, з одним або декількома робочими елементами. Існують комбіновані методи обробки, в яких PPD поєднується як один з елементів. Їх можна розділити на: комбіновані методи справжнього ППД, ППД з випереджальним різанням, ППД до різання та контактний метод.

Між інструментом і гнучкою або жорсткою частиною. Проаналізувавши методи PPD, вони розробили алгоритм, за яким можна вибрати комбіноване лікування. Алгоритм показаний на рисунку 2.5, а на малюнку 2.6 показаний загальний алгоритм, який можна використовувати для управління процесом проектування функціональних властивостей і якістю самої поверхні в процесах комбінованої обробки.



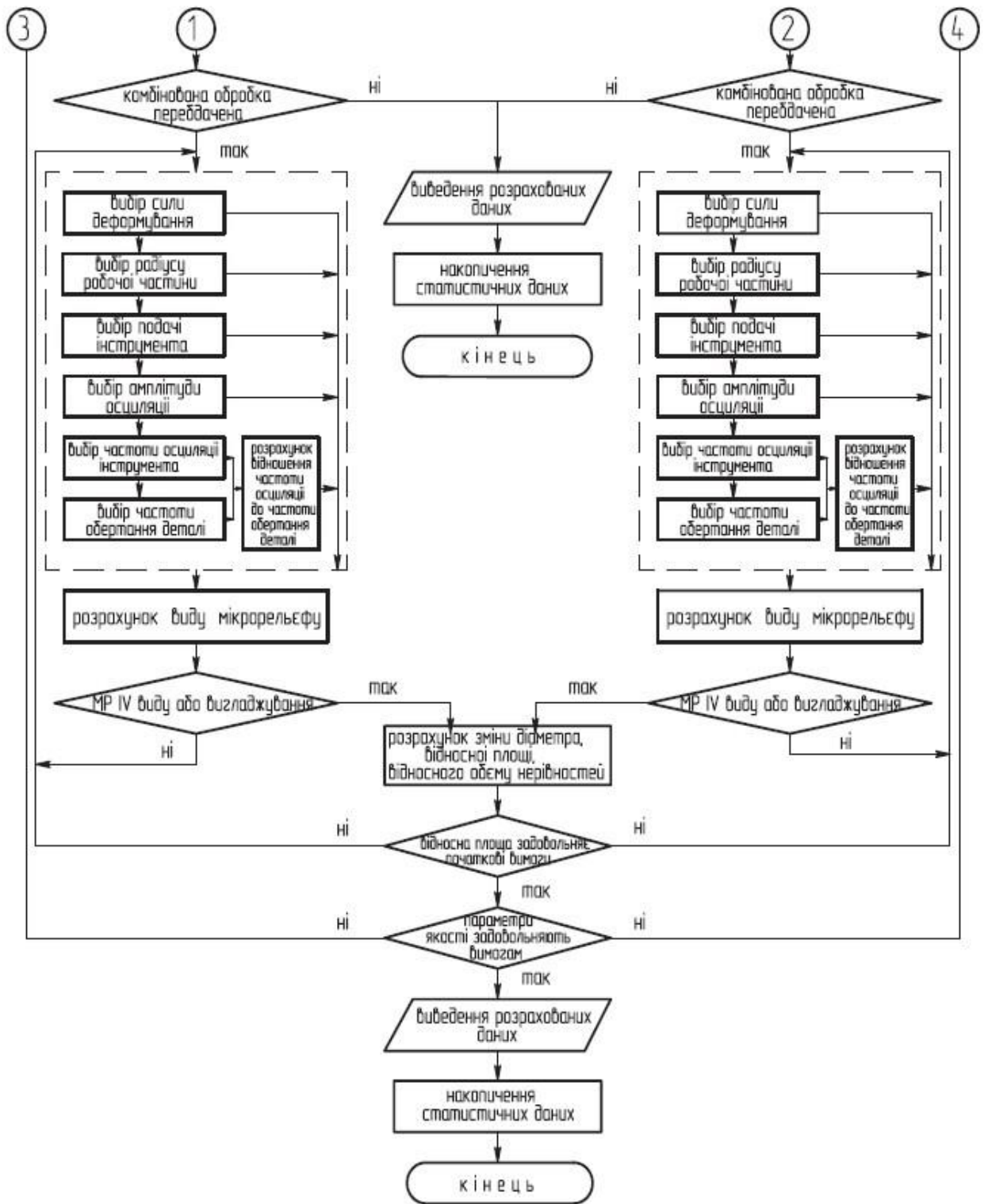


Рисунок 2.6. – Алгоритм керування процесом проектування функціональних властивостей та якості поверхні

Як перший приклад розглянемо методи PPD, розроблені в Іркутському національному технічному університеті.

2.3.1 Складна пластична деформація поверхні.

Аналіз можливостей виготовлення виробів великої довжини та малої жорсткості показав, що в окремих випадках при виготовленні деталей машин доцільно використовувати методи обробки металу тиском (ОМТ), які можуть бути реалізовані в три стадії технологічного процесу: заготівля, формування та механічна обробка. Методами металургійного волочіння і калібрування можна отримати напівфабрикати, максимально наближені за формою і розмірами до готових деталей.

В умовах машинного виробництва деталі можуть бути перетворені в готові деталі, наприклад, шляхом обробки через жорстку матрицю. Беручи до уваги розміри деталей, якість поверхні та довговічність деформованого під напругою верхнього шару, нарешті можна визначити РРД, що дозволяє сформувати високоякісний верхній шар.

Тому при зміцненні довгих і маложорстких циліндричних деталей можливості існуючих методів локального зміцнення значною мірою вичерпуються: при обмеженій ефективності вони не забезпечують необхідної точності діаметральних розмірів і стабільності геометричної форми. Для посилення деталей певного типу доцільно відступати від традиційних схем обробки. Як перспективний напрямок запропоновано метод повної поверхневої пластичної деформації (ОППД), що реалізує осесиметричну схему навантаження на обмежену поверхню виробу. Спосіб характеризується високою продуктивністю і дозволяє в широких межах змінювати властивості створюваного поверхневого шару.

Статична деформація при осесиметричному навантаженні має ряд суттєвих переваг перед методами локального формування поверхні:

- висока продуктивність процесу за рахунок високих швидкостей формування;

- Деталізує та значно зменшує початкову похибку розміру;
- Отримання заданого розміру за один прохід з допусками, що на порядок або більше перевищують допуски, встановлені для пластичної деформації поверхні;
- Шорсткість загартованих поверхонь порівнянна з шорсткістю, яка виникає при обробці.

Привертає увагу виробничників і кінематична простота ОПД, при якому обробка здійснюється виключно осьовим переміщенням заготовки або інструменту. Однак не завжди вдається реалізувати такий принцип обробки - тріщини, надриви, розшарування, перекося та інші дефекти свідчать про те, що уявна простота процесів оманлива.

Ця технологія може бути реалізована двома способами: деформуванням за схемою стиснення (рис. 2.7, а) і деформуванням за схемою напружень заготовки (рис. 2.7, б).

Як інструмент деформації використовується кільцевий індентор - плашка. Робочі деформаційні інструменти (штампи, екскаватори, матриці) складаються з трьох основних частин: робочої частини, яка має форму зрізаного конуса, калібрувальної частини (циліндричної) і стартової частини у формі перевернутого конуса.

При практичній реалізації запропонованих процесів пластичного деформування виникає ряд нових проблем. Одна з них стосується ідентифікації напружено-деформаційного стану виробів, що переробляються. Практика ОМД показує, що в окремих випадках у холоднодеформованих виробах утворюються тріщини, що призводять до руйнування матеріалу (рисунок 2.8).

Визначення напружено-деформованого стану (НДС) в осередку деформації є ключовим питанням для розуміння сутності технологічного процесу та виявлення факторів, що впливають на якість і експлуатаційні властивості деталей машин і виробу в цілому. Основною інформацією для визначення залишкових напружень за результатами розвантаження є напружений стан пружнопластичного матеріалу в осередку деформації.

На основі теорії малих пружних деформацій та методу скінченних елементів побудовано математичну модель процесу зміцнення, яка дозволяє визначити поточний та залишковий напружено-деформований стан у кожній точці навантаженого обертально-симетричного тіла. Точність запропонованої моделі зміцнення підтверджується відомими аналітичними розв'язками (задача Ламі) та експериментальними результатами щодо деформаційного та залишкового напруженого станів.

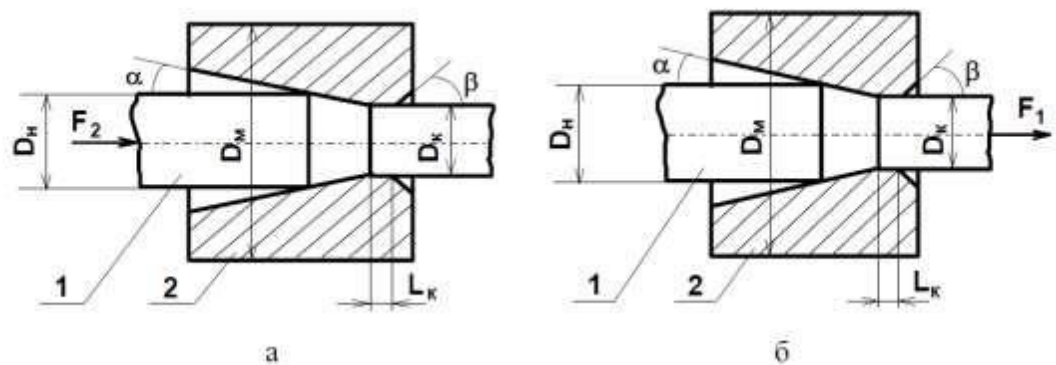


Рисунок 2.7. Технологічні схеми включають деформування за схемою стиску (а) і напруження (б) заготовки (1 – заготовка; 2 – матриця).



Рисунок 2.8. Дефекти каліброваних металевих виробів: а - розкриття торця бруска при виході з матриці; б - тріщина на кінці заготовки згодом холодна деформація; в - деформація форми заготовки при фрезеруванні поздовжньої канавки; д - тріщина на поверхні деталі після різання

На рівень винаходів розробленого технологічного обладнання та пристроїв для зміцнення дорожніх покриттів. Конструкції та

технологічні рішення захищені патентами Російської Федерації. Тому для зміцнення переважно великогабаритних виробів сконструйовано та виготовлено універсальний верстат для виконання ОППД за схемою розтягу та стиснення заготовки. У серійних умовах Відносно короткі деталі, такі як осі та втулки, можна армувати на напівавтоматі. Верстат використовується для армування окремих торцевих ділянок деталей, наприклад валів, що забезпечує гладкість оброблених поверхонь. Для проведення деформації покриття на універсальних пресах розроблені технологічні пристрої, що працюють в автоматичному режимі.

2.3.2 Пластичне деформування поверхні відцентровим притиранням.

У деяких випадках використання ОППД підлягає обмеженням. Мається на увазі стан залишкової напруги в армованих виробках. Експериментальні дослідження та розрахункові дані показали, що залишкові напруги при деформуванні дуже чутливі до ступеня відносного стиснення. Це означає, що розмір поля допуску на деталі впливає на ступінь відносного скручування i , таким чином, на розмір i і тип розподілу залишкового напруження. Шляхом великої деформації через жорстку матрицю, таким чином, можна отримати напівфабрикати з різними залишковими напруженнями, що не гарантує стійкості напівфабрикатів у навантаженому стані.

Логічні проблеми виникають і при використанні відомих методів локального деформування поверхні. Залишкові напруги, що виникають при ППД, характеризуються величиною, знаком і глибиною утворення. Всі ці значення залежать від багатьох факторів, найважливішими з яких є умови поверхневої пластичної обробки і механічні властивості оброблюваного матеріалу.

Багато дослідників відзначають велике значення рівномірності обробки, що забезпечує рівномірне деформування, вирівнювання залишкових напружень і їх рівномірну релаксацію при діючих навантаженнях. На відміну від жорстких валів, виконання цієї умови

залежить не тільки від конструкції інструменту та способів зміцнення, але й від механічних властивостей поверхневого шару та його мікросхем.

Пластична деформація під впливом техніки, опір релаксації при експлуатації.

Вибір конструкції робочого інструменту залежить від основних показників якості обробки поверхневого шару. Рівномірність армування, відсутність вигину хвостовика, мала величина залишкових напружень, їх врівноваженість і рівномірна релаксація в процесі роботи, а також інші показники пов'язані з величиною контактного зусилля інструменту. Інструмент повинен забезпечувати стабільність цієї сили при будь-яких змінах форми деталі, виникненні просторових похибок і флуктуацій в технологічній системі.

Для усунення більшості проблем, викликаних динамікою взаємодії частин технологічної системи, необхідно зупинити обертання деталі і вивести її з прямої взаємодії з касетою, задньою бабкою і люнетом. При такій схемі обробки виключається утворення натягів при кріпленні у вкладиші і затыльнике, оскільки є можливість поздовжньої деформації будь-якого розміру. У цьому випадку необхідно обертати інструмент, щоб забезпечити ППД обробку всієї поверхні нежорсткого валу. Для виключення деформації вигину заготовки під дією стискаючої сили деформуючого елемента потрібне застосування інструменту з повним зусиллям фіксації.

Для створення робочого тиску тіла, що деформується, в даний час використовуються найрізноманітніші конструкції (кульки, ролики і ін.). Відцентровий інструмент забезпечує високу продуктивність при заданій якості обробки та стабільності. До недоліків відомих конструкцій відцентрових різців можна віднести високу частоту обертання інструменту. Для створення необхідної сили, що забезпечується силою інерції при малій масі роликів, необхідна висока частота обертання інструменту, яка стандартно не передбачена. Висока частота обертання також викликає вібрацію, що, безсумнівно, впливає на рівномірність обробки. Найпростіше рішення проблеми збільшення роботи.

Сила, що створюється відцентровою силою, є застосуванням системи важелів. Цю відцентрову напрямну систему розробив і запатентував. До кулачкового важеля закріплено деформуючий елемент і вантаж (рисунок 2.9).

Вся система обертається навколо нерухомої осі заготовки, а сила інерції вантажу створює момент навколо точки кріплення важеля, який урівноважує крутний момент приводної сили навколо тієї ж точки. При невеликій довжині зігнутого плеча важеля відносно точки кріплення важеля сила, що приводить в дію, зростає. Отже, сила деформації регулюється співвідношенням плечей і величиною навантаження. При великому обсязі навантаження, при частоті обертання, передбаченої стандартним обладнанням, виникають достатні зусилля для обробки ППД. Застосування відцентрового притирання дозволяє регулювати жорсткість вигину заготовки шляхом встановлення двох додаткових опор як у конструкції притирання, так і поза нею на станині верстата. У роботі описано якість армованого шару за допомогою відцентрового притирання.

2.3.3 ПД для поперечного притирання плоскими плитами.

Відомі методи PPD не дозволяють обробляти дрібні деталі з низькою жорсткістю, такі як осі, ролики, пальці, так як вони легко згинаються під навантаженням формувального інструменту. Є багато інших деталей машин, які не мають центральних отворів, тому їх не можна монтувати в центрі металорізальних верстатів. Для обробки та зміцнення певного класу деталей запропонована схема притирки з плоскими пластинами.

Процес поперечної прокатки плоского листа подібний до процесу поперечної прокатки клинів, процесу прокатки профілю для кріпильних деталей. Основним параметром поперечної прокатки є градус

Затиск і геометрія інструменту. Інструмент у процесі поперечного притирання має вигляд плоскої пластини з невеликим кутом західної частини α_1 (рисунок 2.10). Для цього у вихідній частині інструменту використовується малий кут α_2

Зниження концентрації напруги при виході із зони обробки. Тому для процесу поперечного притирання основним параметром режиму обробки є ступінь відносного затиску Q .

$$Q = \frac{F_u - F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}} = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) 100\%$$

Де F_u - початкова площа поперечного перерізу заготовки; $F_{\text{пр}}$ - площа поперечного перерізу

Поперечний розріз виробу після прибуття; D – початковий діаметр заготовки; d - діаметр заготовки після притирання.

У статтях описано кінематику процесу поперечного притирання плоских пластин і методи обробки.

Характерною особливістю обробки арматури на плоских плитах є: висока продуктивність процесу, можливість автоматизації технологічного процесу, відсутність необхідності попереднього кріплення деталей.

Механічна обробка, відсутність центральних отворів, можливість повної обробки циліндричної поверхні без повторного складання деталей, відсутність вигинів при армуванні, можливість обробки тонких (менш жорстких) деталей. Для реалізації процесу поперечного армування прокаткою плоских листів в умовах багатосерійного виробництва розроблено нову конструкцію прокатного стану.

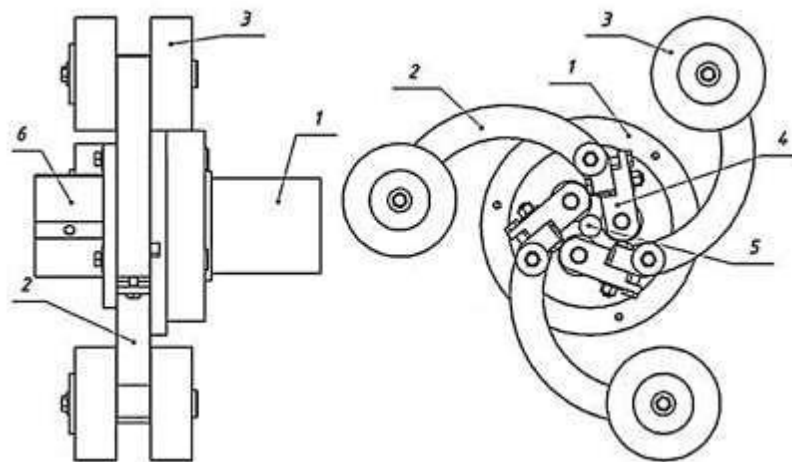


Рисунок 2.9. Відцентрова притирка: 1 - корпус; 2 - важіль; 3 - вантаж; 4 - ручка з деформаційним роликком; 5 - пробіг частинами; 6 – доп кронштейн

(знятий захисний кожух).

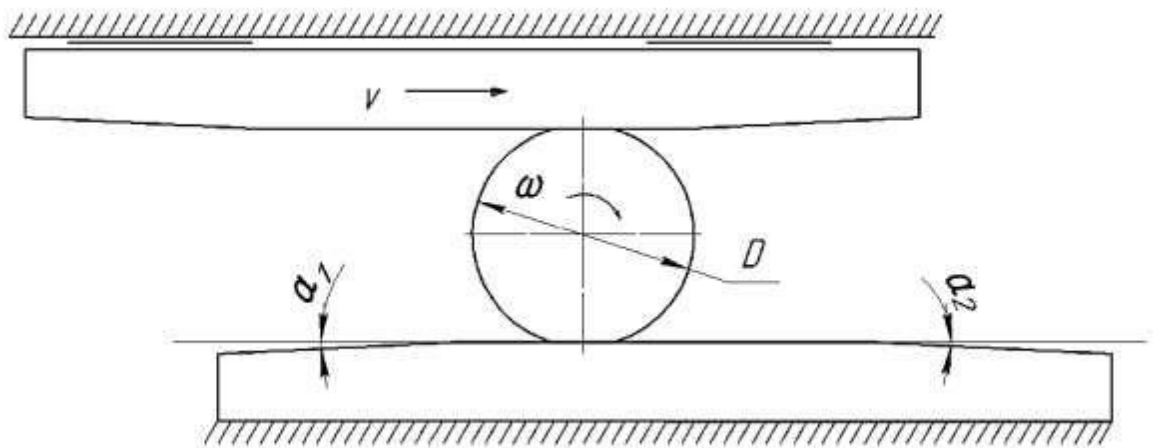


Рисунок 2.10.- Схематичне зображення процесу поперечного притирання плоскими плитами.

2.3.4 Обробка і загартування з коливальним згладжуванням.

Ефективним напрямком удосконалення методів ППД є використання додаткових коливальних і коливальних рухів, які дозволяють, крім зміцнювальної обробки, створити на поверхні армування рівномірний мікрорельєф. Для вдосконалення методів обробки поверхонь і створення правильного мікрорельєфу професор Ю.Г.Шнайдер запропонував схему вібраційного притирання, а професор М.Є.Попов розробив технологію та апаратуру коливальних ППД.

Запропоновані способи обробки арматури відрізняються кінематикою деформуючого інструменту, який здійснює зворотний поступальний рух уздовж або поперек осі деталі. При цьому кожна мікрозона поверхневого шару стискається в різних напрямках. Зміна знака напруги відображає ефект Баушингера і проявляється в зміні механічних властивостей армованого матеріалу. На відміну від методів обробки, розроблених Ю.Г. Шнейдера та М.Є. Попова, у запропонованому способі робочий інструмент здійснює зворотно-поступальний рух у напрямку, перпендикулярному до осі деталі, тоді як у відомих схемах обробки реалізується коливальний рух інструменту.

Схема згладжування коливань циліндричних деталей наведена на рисунку 2.11. Робочим інструментом є пластина із закругленням на одному кінці по радіусу r .

Деталь, притиснута до деталі, що обертається. Пластина може повертатися відносно вертикальної площини на певний кут α (див. рис. 2.11.), а також здійснювати коливальний вертикальний рух відносно осі заготовки, переміщаючись вздовж напрямку подачі S . В результаті комплексу взаємодією заданих параметрів на обробленій поверхні утворюється мікрорельєф, що складається з синусоїдальних канавок різного складу і щільності. Завдяки створенню системи канавок на обробленій поверхні, що регулярно перетинаються між собою, покращується процес змащування парою. Встановлено, що такі системи створюють штучні «масляні кишеньки», в яких зберігається мастильний матеріал, що запобігає «заїданню» контактних поверхонь пар тертя; створювати на поверхнях деталей закономірні нерівності різної форми в залежності від необхідних експлуатаційних властивостей і характеристик; створюють спіральні мікрощілини на сполучених циліндричних поверхнях; забезпечують декоративну обробку поверхні деталей замість трудомісткої шліфувальної підготовки.

У роботі описано вплив параметрів коливального згладжування (поздовжньої подачі, натягу, частоти обертання заготовки та кута нахилу робочого інструменту) на якість армованих деталей. Посилення стресу при ППД. При площинних пластичних деформаціях деталей з малою жорсткістю (тонкостінних, довгомірних деталей) можливості використання методів локального зміцнення обмежені. Це пояснюється низькою жорсткістю заготовки на вигині, вібраціями механічної системи, труднощами в досягненні певної якості деталей, точності обробки, а також відсутністю необхідного технологічного обладнання. Пластична деформація поверхневого шару призводить до значних деформацій і переміщень металевих частинок, що негативно позначається на геометричній формі виробів.

Враховуючи вищевикладене, постало питання про необхідність інтенсифікації стану напруженої деформації в осередку деформації

технологічними прийомами поверхневої пластичної деформації з метою отримання високих показників якості при обробці деталей з низькою твердістю.

Для цього розроблено нові схеми технології РРД, які забезпечують інтенсифікацію напруженого стану в осередку пружнопластичного деформування. У практиці ППД відомі і широко застосовуються дві схеми обробки зміцнення: зміцнення за схемою обертання робочого інструменту (рисунок 2.12, а) і зміцнення за ковзною схемою (рисунок 2.12, б). Остання схема на практиці використовується значно рідше, оскільки тертя ковзання в зоні контакту призводить до великих теплових процесів і сильного зносу самого інструменту. Проте, якщо оцінювати ці дві схеми зміцнення з точки зору механіки процесу та можливості деформаційного спотворення мікроструктури, то обробка за ковзною схемою, ймовірно, буде більш ефективною.

Технічна ідея інтенсифікації напруженого стану в осередку деформації полягає в зміні кінематики робочого інструменту, внаслідок чого збільшується деформація зерен структури матеріалу. Обертати деформуючий ролик пропонується не відносно горизонтальної осі, а відносно вертикальної (рисунок 2.12, в). У цьому випадку пластичний відбиток валика на поверхні деталі являє собою фігуру у вигляді еліпса, який має велику і малу вісь. При обертанні ролика навколо вертикальної осі уу в одному напрямку накладаються пластичні поля різної орієнтації, що має сприяти "структура «змішування» в поверхневому шарі. Якщо з'єднати два ролики між собою, а також повернути їх відносно осі уу (рис. 2.12, г), то ефективність обробки буде значно вищою, оскільки в процесі деформації за кожен оберт беруть участь не два, а чотири центри деформації ролика. . На рис. 7 показано вплив закономірностей деформації на максимальну еквівалентну залишкову напругу та складові максимальної залишкової напруги зразка. При прокатці РРД (прямий напуск) деформація конструкції мінімальна. В умовах ППД ковзання викликає високе тертя, що призводить до збільшення інтенсивності напружень у зоні деформації. При ППД напруження зростають із обертанням ролика

відносно його діаметральної осі (уу) через різний розмір центрів деформації напружень. Ефективний результат досягається за допомогою ппД з обертанням двох роликів навколо осі (уу). Завдяки описаній структурі профілю робочої частини притирального ролика з двома радіусами метал поверхневого шару деталі під час обробки перебуває у складному напруженому стані та піддається пластичній деформації з накопиченням великої кількості деформацій.

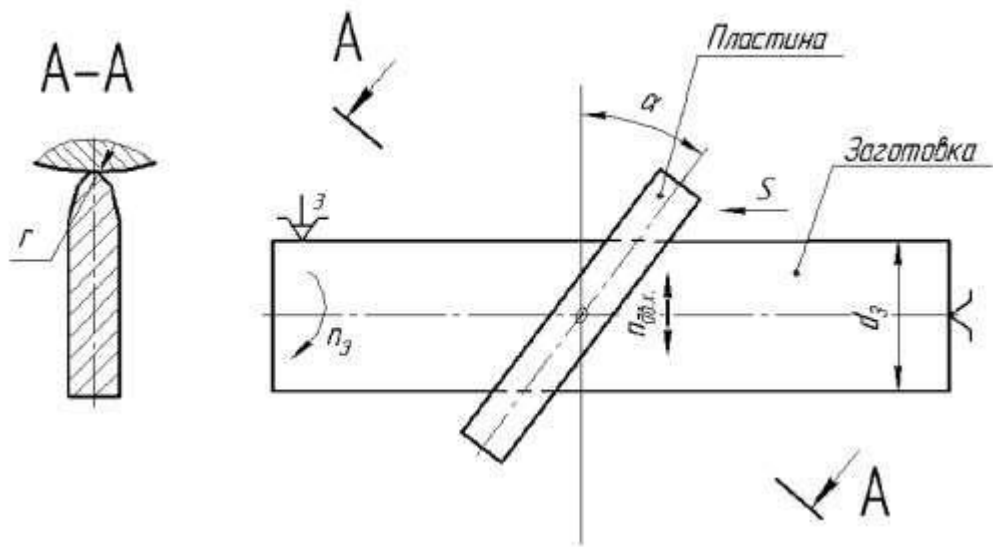


Рисунок 2.11.- Схематичне зображення коливального процесу згладжування циліндричних деталей.

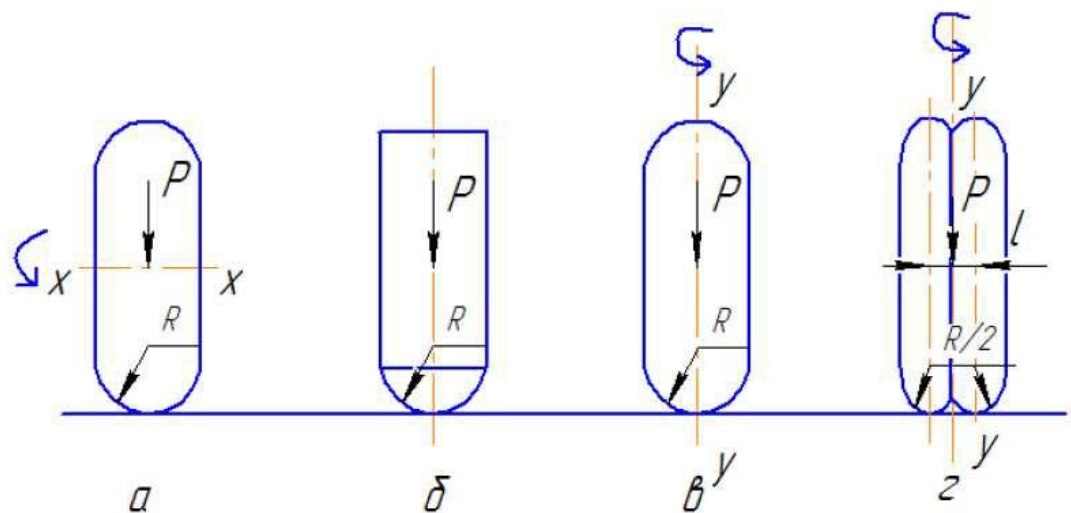


Рисунок 2.12.- Діаграми навантажень при різних умовах контакту з обробленою поверхнею (Xx, уу: осі обертання)

Периферійне зміцнення деталей машин потребує зміни кінематики обробки - відцентрове зміцнення та циліндрове зміцнення зі зміненою обертальною кінематикою. Дані розрахунків і експериментальних випробувань показали досить високу ефективність нових методів термообробки.

2.4 Зміцнення поверхонь виробів складної форми за складними схемами деформування.

У цій статті ми підраховали, що за умови чистого зсуву матеріал може накопичувати великі деформації, зберігаючи макророзміри в усіх трьох напрямках. На жаль, відсутність простої схеми чистого зсуву ускладнює її реалізацію, оскільки зразок неможливо затиснути торцевими затискачами. На практиці ця проблема вирішується спеціальними схемами деформації: пресування під однаковим кутом або видавлювання зі скручуванням. Навіть якщо визнати незаперечний прогрес цих досягнень, слід звернути увагу на обмеження їх практичного застосування через малий розмір вибірки та складність використовуваного обладнання. Методи лікування поверхневих деформацій в останні роки стають все більш популярними. Серед найбільш відомих – ударна та ультразвукова обробка поверхні, поверхневе тертя, метод витягування зсуву та інші. З погляду практичного застосування особливе місце в цьому ряду посідають технології деформування поверхні виробів складної форми, розроблені в Інституті надтвердих матеріалів НАН України. Це способи несиметричного пластичного деформування: витягування деформуючого отвору (рис. 2.14, а); редукування циліндрів (рисунок 2.14, б) і прокатування сферичних виробів з плоскими поверхнями (рисунок 2.14, в). Ці технології дозволяють отримувати вироби з надзвичайно високою точністю геометричних розмірів, винятково низькою шорсткістю поверхні і водночас нанодисперсною структурою матеріалу в приповерхневих шарах за рахунок використання інтенсивних зсувних деформацій.

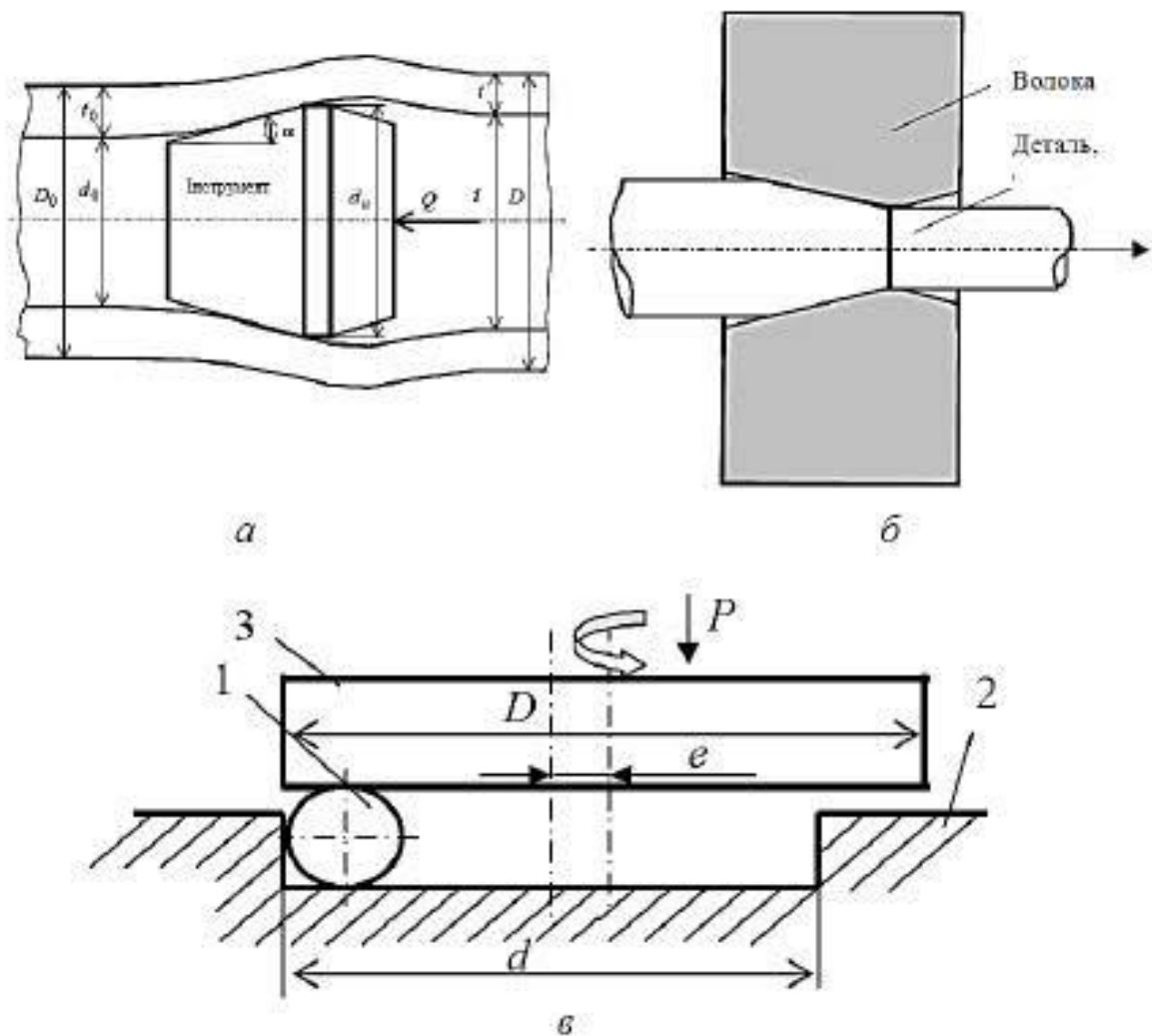


Рисунок 2.14.- Схеми процесів обробки поверхні: деформаційне витягування (а), обжаття (б) і прокатка (в).

Найбільш простим і наочним прикладом є виконання малюнка при прокручуванні заготовки. На рисунку 2.15 наведено результати дослідів з деформування за схемою, наведеною на рисунку 2.15. 1, а. В одному експерименті розтягування проводилося одночасно з прокручуванням. Додаткове прокручування дозволяє значно збільшити твердість поверхневих шарів. Порівняння отриманих даних з результатами зразків без прокручування показало, що прокручування збільшує ефективну деформацію від 0,6 до 1,1, а межу текучості в приповерхневій зоні від 900 до 1200 МПа.

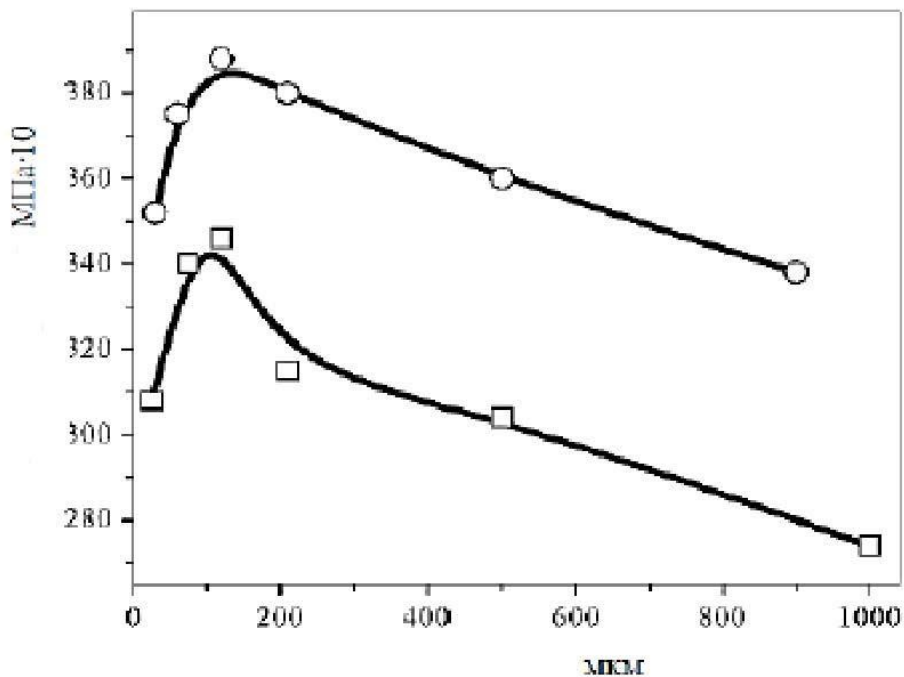


Рисунок 2.15.- Твердість поверхневого шару зразків сталі 35ХГСА після витягування (□) і перетягнень і прокруток (○).

Іншим прикладом комбінованого навантаження є кочення кулі. Вироби з плоскими поверхнями (рисунок 2.14, в). Для цього сферичний зразок 1 поміщають у циліндричну камеру 2. Обробку здійснюють обертовим інструментом 3, який притискають до заготовки з певним зусиллям. Для того, щоб контакт сферичного виробу з інструментом рівномірно охоплював всю поверхню, вісь інструменту повинна бути розташована відносно осі камери з певним ексцентриситетом, наприклад, при кожному наступному обертанні виробу в камері він зміщується відносно попередньої позиції. Для дослідження структури та механічних властивостей деформовані сфери розрізали на дві рівні половини по діаметру.

Мікротвердість градієнтного підповерхневого шару вимірювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 20 м. Вимірювання проводили по діаметру сфери з кроком 20 мкм. Структуру деформованих шарів досліджували методом трансмісійної електронної мікроскопії. Для вивчення будови.

Для поверхневих шарів використовували одностороннє полірування.

Діаграми зміни твердості поперечного перерізу зразків із титанових сплавів VT-6 і VT-1.0 наведені на рис. 2. 3. Видно, що твердість технічно чистої титанової кульки в поверхневих шарах перевищує твердість титану, деформованого ВВС (3200 МПа) і досягає 3800 МПа. При цьому деформований шар має відносно велику глибину, оскільки підвищена твердість зберігається до глибини >1 мм. Сплав VT-6 має більш високу поверхневу твердість (до 5200 МПа), але слабшає дещо швидше. На електронно-мікроскопічному зображенні (рисунок 2.17) поверхневого шару кульки зі сплаву VT-1.0, обробленого накаткою, спостерігаються змішані нанозерна розміром 150–200 нм.

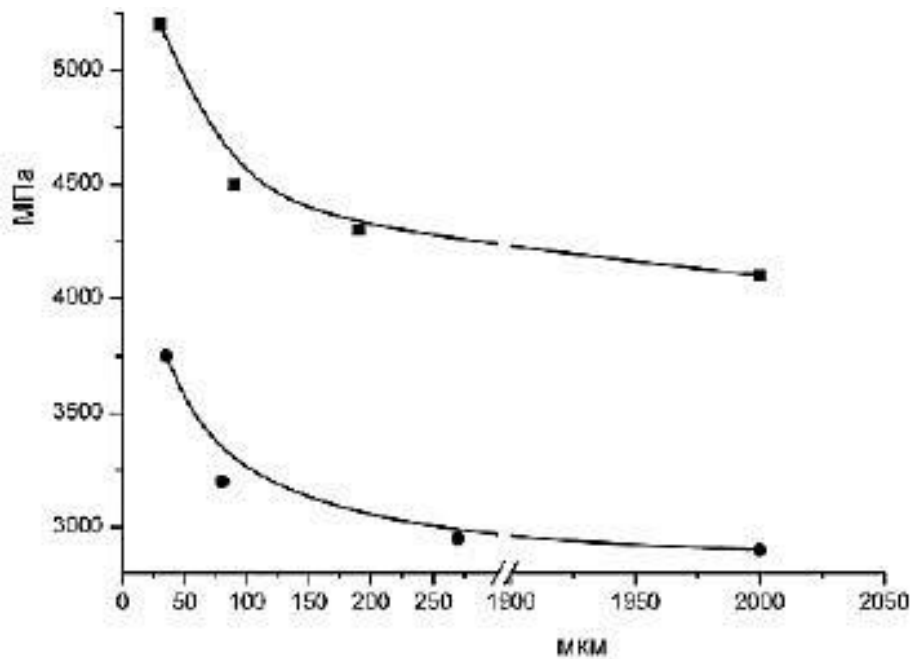


Рисунок 2.16.- Зміна твердості з глибиною від поверхні кульок виготовлені з титанових сплавів VT-6 (—) і VT-1.0 (—), асиметрично експоновані накатка

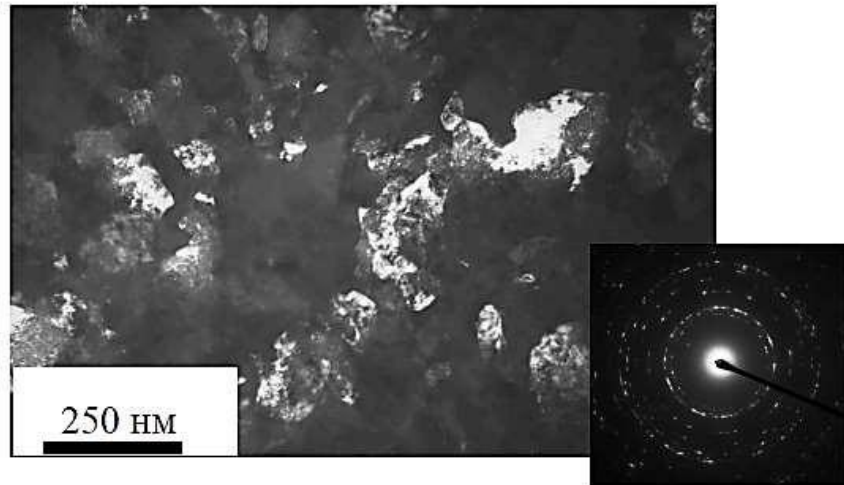


Рисунок 2.17.- Електронна мікроскопія поверхневого шару рифленої кульки зі сплаву ВТ-1.0.

Для вивчення впливу температури прокатки на характеристики зміцнення куль були проведені порівняльні випробування куль зі сталі 20, деформованих при кімнатній температурі та 77 К. Результати випробувань наведені на рис. 5. Зразок, деформований при кімнатній температурі демонструє значне зміцнення і, як і у випадку технічного титану, зміцнюється в поверхневих шарах до твердості, що відповідає сильно деформованому стану. Потім зміцнення поступово зменшують на 1–1,5 мм по глибині зразка. Зразок, деформований у рідкому азоті, демонструє надзвичайно високий наклеп. Твердість 4500 МПа, виміряна в підповерхневих шарах, приблизно в півтора рази перевищує твердість сильно деформованої сталі 20. Слід зазначити, що навіть високоміцні чавуни, катані при кімнатній температурі, дещо поступаються за зміцненням виробів, до отриманих при обробці сталі в середовищі охолодження. Таке сильне зміцнення може бути викликане особливими умовами формування деформаційної наноструктури. При низьких температурах рух дислокацій гальмується високими напруженнями Пайєрла, що сприяє утворенню дрібних нанозерен і, таким чином, сильному наклепу. Слід зазначити, що для заданого тиску на інструмент (2000 Н) глибина деформованого шару відносно мала (200 мкм).

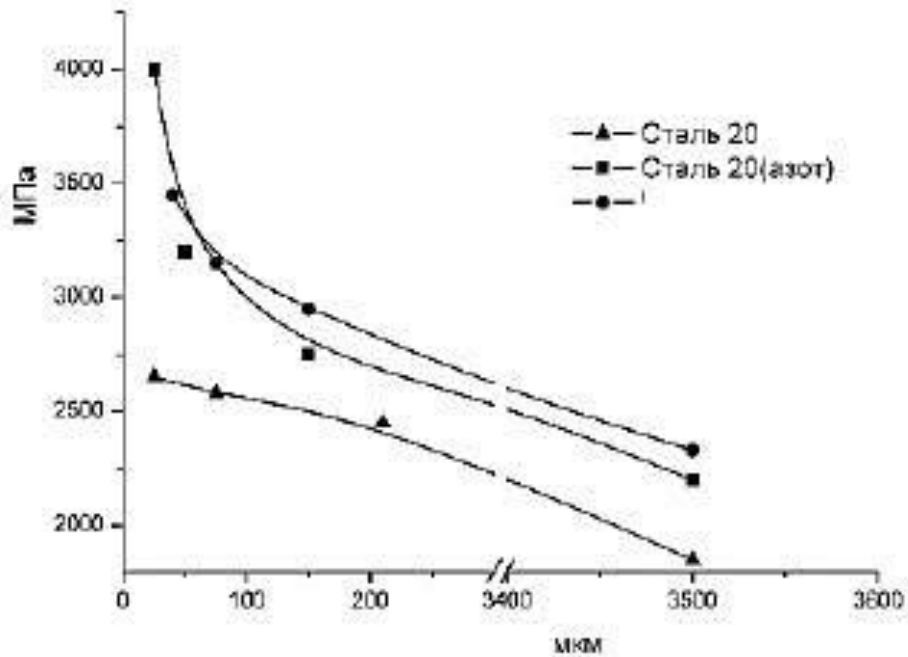


Рисунок 2.18.- Зміна твердості з глибиною від поверхні кульок зі сплаву

Чавун, деформований асиметричною накаткою при температурі 77 (▲ – сталь 20) і 293 К (■ – сталь 20 (азот); ● – чавун).

Іншим важливим прикладом практичного застосування інтенсивного пластичного деформування поверхні є розроблена в НАН України промислова технологія ІСМ виробництва клинових втулок для залізничного транспорту. Ця технологія використовує метод укорочення на рухомому штифті форми.

Внутрішня поверхня втулки (рис. 2.18) зі сталі 20Х формується за складною схемою деформування, що поєднує обведення (запресовування) зовнішньої поверхні заготовки спеціальними протяжками і одночасне запресовування внутрішньої поверхні в профільний каркас.

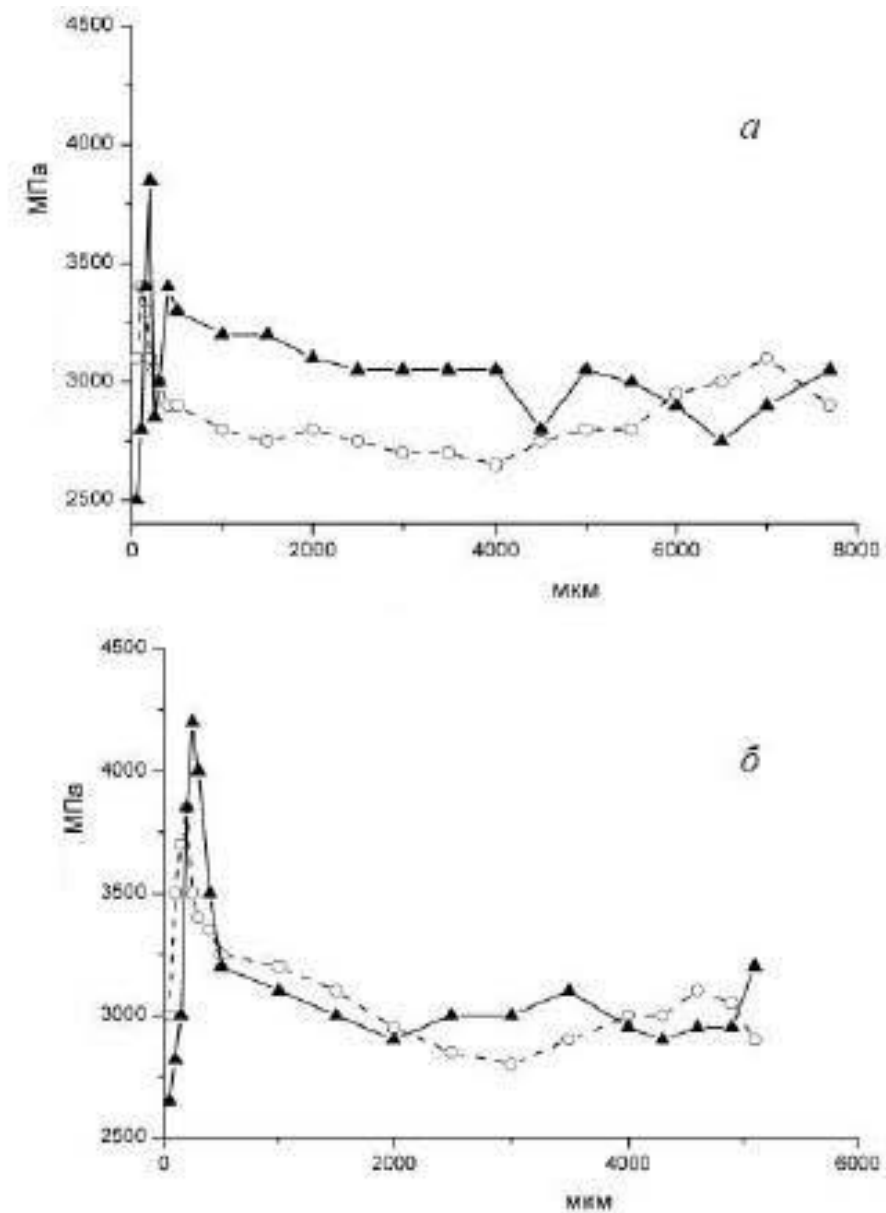


Рисунок 2.19.- Твердість внутрішньої поверхні шліцьової втулки: в зоні виступу шліцьового з'єднання (а) і виїмки шліцьового з'єднання (б): ▲ – площина, перпендикулярна до осі втулки; ○ – площина вздовж осі шліця.

Зміцнення повного прорізного профілю проводиться не менше ніж за три цикли деформації, причому внутрішній діаметр наступної протяжки менше діаметра попередньої. При цьому в робочій зоні виробу створюється прорізний профіль, наноструктура з деформаційним походженням і градієнтним зміцненням з досить глибокою деформаційною обробкою деталі. Результати вимірювання твердості наведені на рис. 2.7 для зони зубчастого буртика (рис. 2.19, а) і зони зубчастої виїмки (рис. 2.19, б). Зміна твердості в глибину від поверхні площини.

Перпендикулярно до осі гільзи і для площини вздовж осі шліца. Максимальна твердість спостерігається на поверхні виїмки на відстані ~500 мкм. Звернуто увагу на надзвичайно високі показники твердості в приповерхневих шарах (понад 4000 МПа), що відповідає високому ступеню інтенсивної деформації ($\epsilon \sim 2-3$) і великій глибині обробки основи деформації за рахунок об'ємного стиснення. на 15-20%. При цьому твердість в лопаті перпендикулярно осі втулки значно більша, ніж у поздовжньому напрямку. Це пояснюється високою стисненістю ділянок біля виїмки та зменшенням розмірів елементів конструкції в напрямку стиснення. Отримані результати свідчать про доцільність заміни складних операцій точіння та різання з подальшою хіміко-термічною обробкою для легшого деформування пластичним холодним витягуванням, процес формування якого супроводжується зміцненням внутрішніх поверхонь канавок внаслідок утворення деформації. наноструктура.

2.5 Залежність властивостей деталей від параметрів процесу ППД

Важливим завданням при обробці деталей є підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару, забезпечення високої якості робочих поверхонь і їх матеріалу. ППД має високі економічні показники і дозволяє реалізувати потенційні властивості матеріалу в реальних деталях з концентраторами напружень або в деталях складної конструкції.

Д широко використовується в усіх галузях промисловості та є ефективним методом покращення властивостей деталей машин. Зазвичай це використовується як завершальний процес, який багато вчених розвивають, відкриваючи нові методи або вдосконалюючи існуючі.

На найбільш значний ефект зміцнення в результаті обробки ППД досягається для деталей, що піддаються циклічним навантаженням, експлуатаційним або структурним концентраторам напружень. Пластична деформація також впливає на деталі, які зношуються під час експлуатації.

Зміцнюючи поверхневі шари при ППД, можна покращити фізико-механічні властивості деталей за рахунок подрібнення зерна, структурних перетворень, а також утворення залишкових напружень стиску в поверхневому шарі, що виникають внаслідок розвитку зміщень у кристалі. решітка. Ці загальні фактори визначають експлуатаційні властивості деталі. Проте висота нерівностей зменшується, що виражається в їх більш похилому розташуванні та покращенні якості поверхні, що важливо для поверхонь пар тертя. Залежно від вимог, форми, матеріалу деталі, розмірів, якості поверхні та геометричних параметрів, виробничих чи інших умов можуть застосовуватися різні методи обробки пластичною деформацією. Методи можна розрізняти на основі силових моделей, економічності, продуктивності та інших показників (рис. 2.20). Загальними ознаками методів є форма робочої зони деформованого тіла; схема контакту поверхні деталей з деформівними тілами; швидкість деформації; зв'язок оброблених деталей з джерелом руху, спосіб передачі енергії інструменту.

Прокатне формування деталей є одним із поширених методів РРД. Також широко використовуються валкове зміцнення, дробеструйне оброблення та відцентрове кування кульок, а також пружинна прокатка кульок. Останнім часом термомеханічна обробка стає все більш популярною у обробній промисловості.

Циліндрична деформація деталі починається з вдавлювання валика в поверхню оброблюваної деталі. Контакт ролика з деталлю може бути лінійним або точковим залежно від конфігурації контактних елементів. Під дією прикладеної сили валик притискається до заготовки, таким чином створюється відбиток на поверхні. Форма отриманого відбитка безпосередньо впливає на процес пластичної деформації при прокатці.

При прокатуванні деталі будь-якої форми роликом з круглим профілем створюється враження еліптичної форми, якщо тільки радіус кривизни деталі не дорівнює радіусу кривизни ролика з протилежного боку.

Знаки валки сферичної, торічної або бочкоподібної форми (з робочим профілем круглого перерізу) мають перевагу перед іншими формами, що забезпечує широке застосування у виробництві. При використанні таких валиків форма відбитка залишається постійною і зберігається незалежно від точності його складання і жорсткості системи інструмент-деталь. Ролики круглого профілю часто використовуються в чистовій прокатці і служать основним інструментом гартування. Завдяки лінійному початковому контакту деталі з валиком утворюється прямокутний відбиток.

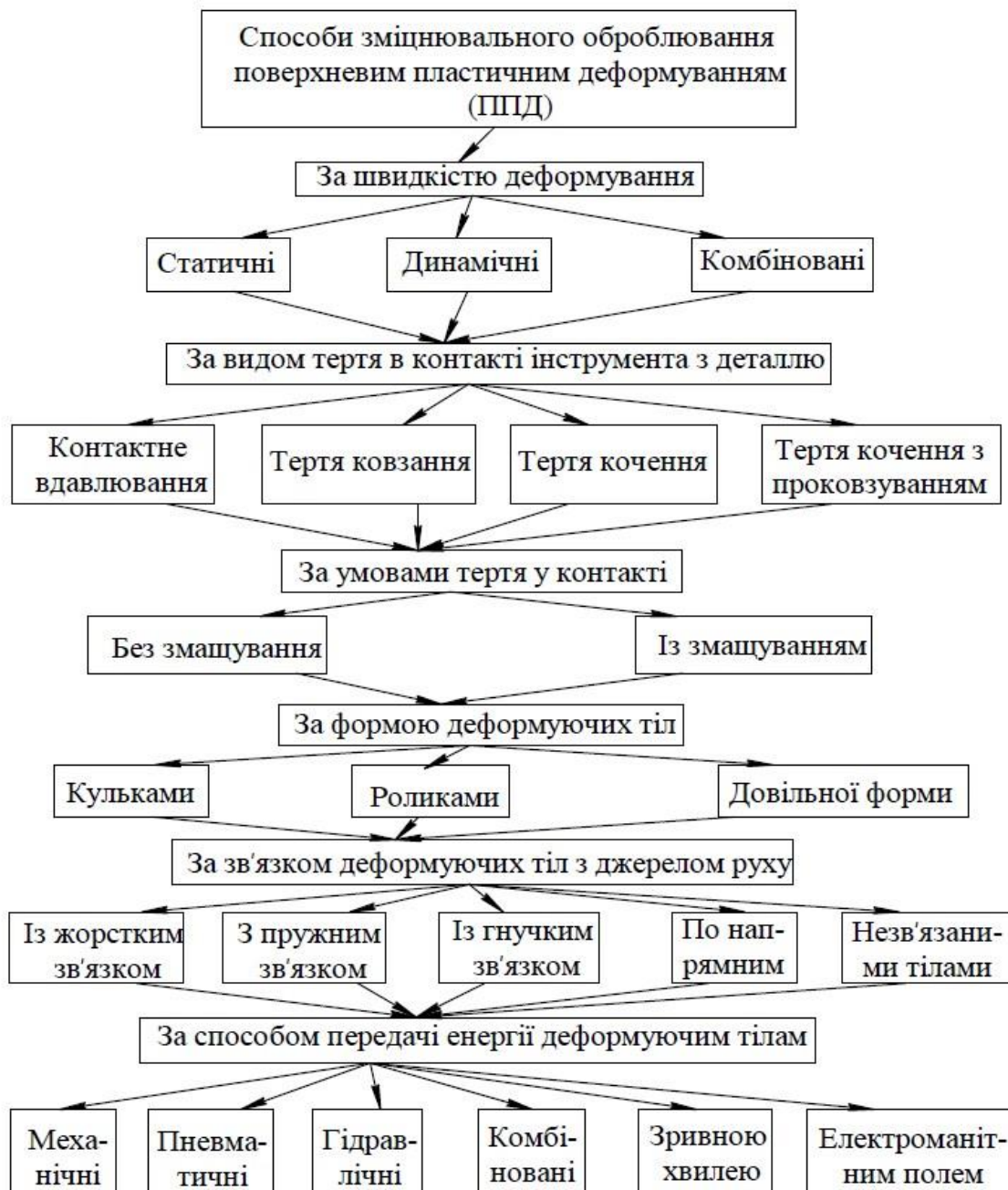


Рисунок 2.20. - Класифікація методів ППД

2.6 Вплив ППД та параметрів обробки на технологічну спадковість деталей

Застосування ППД впливає на зміну пластичних і міцнісних властивостей матеріалу, підвищує стискаючі залишкові напруги і твердість, змінює текстуру і структуру матеріалу деталей. Проте доцільно впливати на ці зміни або передбачати задані умови якісної функції.

Характеристика поверхневого шару в деяких випадках неможлива через нестационарність процесів PPD та їх складність, а також їх недостатню дослідженість.

Через складність впливу різних параметрів обробки на армування поверхневого шару виникає необхідність проведення трудомістких експериментів для реалізації процесів PPD та отримання необхідних властивостей продукту. Результати цих експериментів стосуються переважно лише деяких характеристик конкретних виробів із певного матеріалу.

Загальними ознаками проектування функціональних властивостей виробів є пластичність і міцнісні властивості матеріалу, а також рівень залишкових напружень у поверхневому шарі деталі, обробленої методом ППД. Для обробки важливі вказані значення і характер розподілу накопичених деформацій в поверхневому шарі і залишковий ресурс пластичності. За вказаними властивостями можна визначити здатність матеріалу деталі до подальшої пластичної деформації.

При зміцненні метал у поверхневому шарі стає міцнішим, що зумовлено ефектом Баушингера, який обумовлений зміною знака деформації. Найбільш сильне зміцнення спостерігається на швах або при великому скупченні пошкоджень на поверхні, що призводить до помітного зниження міцності і твердості оброблюваного металу. За цих умов основними факторами зниження твердості є:

- а) ефект Баушінгера, ядром якого є деформація зі зміною знака – він зростає зі збільшенням пластичної хвилі, а отже, із збільшенням глибини перетворення;
- б) контактне тертя і, отже, підвищення температури в зоні контакту;
- в) виснаження пластичних ресурсів внаслідок деформації металу.

Ще означає, що вимірювання твердості не в змозі визначити ступінь

деформації зміцненого шару в разі тривалого пластичного зміцнення.

У таких випадках твердість може бути охарактеризована міцнісними властивостями металу і далі пов'язана із залишковими напругами. Якщо необхідно визначити ступінь деформації, що розвивається протягом даного часу деформації або кількості проходів шляхом вимірювання твердості, це має бути визначено для обмеженої кількості проходів або часу обробки. Деформація, накопичена під час процесу обробки, може бути визначена як сума проходів або часу обробки з урахуванням поступового зменшення внаслідок зміцнення металу.

На певній стадії ППД може спостерігатися сильне пластичне розпушення матеріалу, що супроводжується зниженням твердості поверхні деталі (рисунок 2.21).

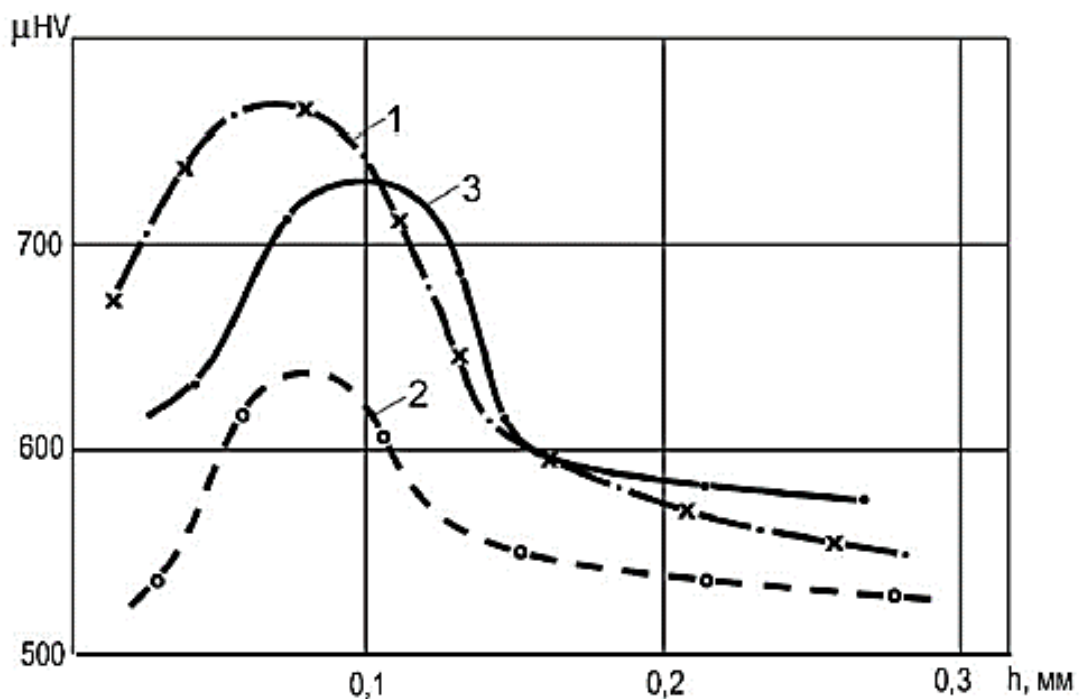


Рисунок 2.21. – Розподіл мікротвердості по всій глибині поверхневого шару при прокатці кульок

Свідчить про негативний вплив у подальшому процесі пластичної деформації на властивості поверхневого шару деталі (рисунок 2.21, крива 2).

Згідно з даними на рисунку 2.21, найбільше значення інтенсивності деформації для побудованих кривих 1 і 3 спостерігається на глибині.

0,1 мм. За результатами кривої 2 неможливо визначити загальну деформацію.

На цій основі вимірювання поверхневої твердості можна використовувати для визначення властивостей матеріалу поверхневого шару деталі на перших стадіях процесу пластичної деформації, а також для визначення коефіцієнтів зміщення області максимальних деформацій у порядку. визначити критерій, що характеризує процес обробки заготовки за часом зниження твердості поверхневого зміцненого шару. Як показують дослідження поверхневого шару, при всіх методах ППД при механічній обробці на поверхні заготовки утворюються кінцеві напруги стиску, які змінюються по глибині і величині і можуть трансформуватися в кінцеві напруги розтягу в глибині (рис. 2.22).

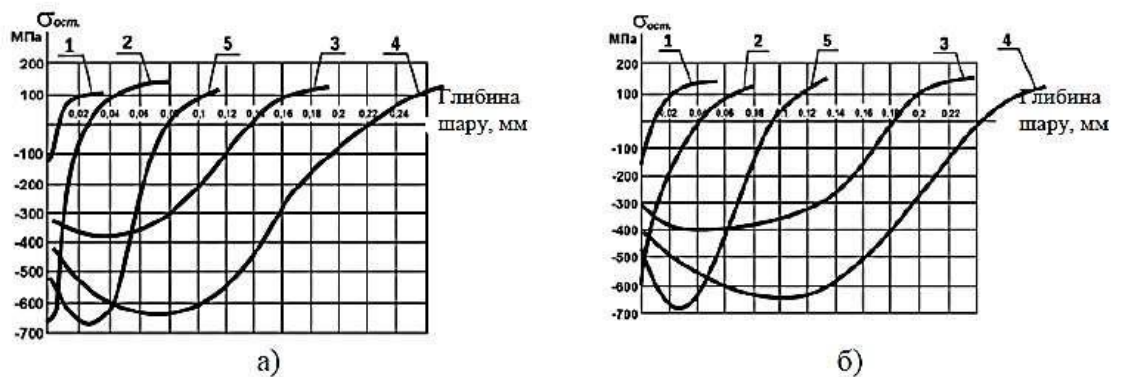
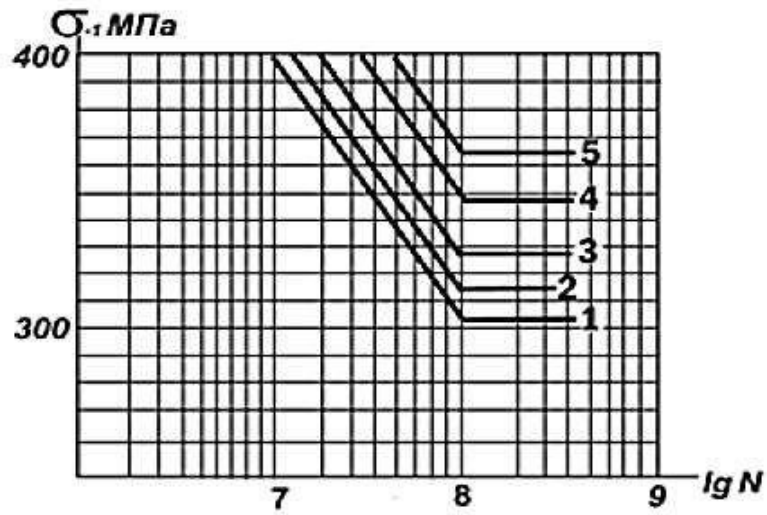
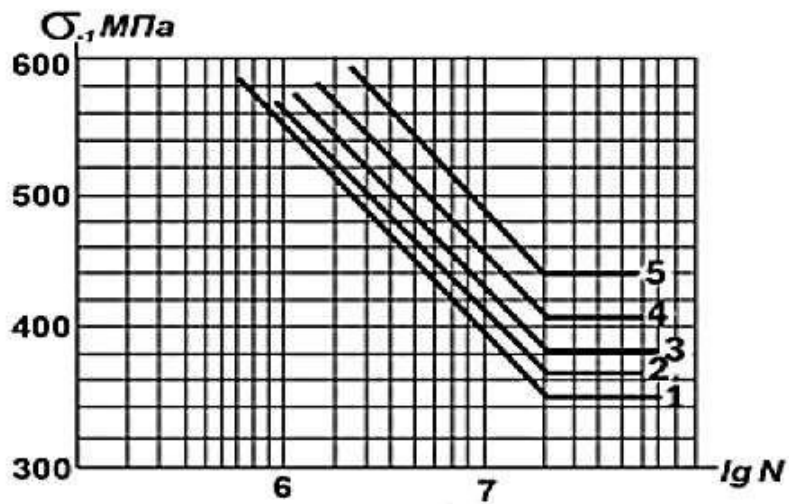


Рисунок 2.22. – Діаграма розподілу кінцевих напружень у поверхневому шарі для різних видів фінішної обробки: 1 – термообробка; 2 – вібротолот сталеві кульки; 3 – ультразвукова арматура зі сталевими кульками діаметра; 4 – гідрореактивна арматура з кульками; 5 – дробова арматура сталевими кульками.

За результатами випробувань деталей на втому після зміцнення процесами пластичної деформації зазвичай спостерігається підвищення межі міцності (рисунок 2.23), але прямого зв'язку з глибиною і величиною поширення залишкової напруги немає.



а)



б)

Рисунок 2.23 – Діаграма кривих втомної міцності деталей з різною обробкою поверхні: 1 – термообробка; 2 – вібромолот; 3 - ультразвуковий тонік; 4 – гідрореактивне підсилення з кулями; 5 – дробове посилення зі сталевими кулями.

Д призводить до помітного підвищення властивостей конструкційної міцності і твердості деталей машин із кольорових металів і сплавів, сталі, чавуну; контактна міцність, втомна міцність, корозійна стійкість, контактна жорсткість, зносостійкість і ряд інших механічних властивостей.

Деформація деталей за допомогою різних концентраторів напружень. Підвищення меж міцності в умовах багатоциклової втоми зростає зі збільшенням концентрації напружень. При цьому пластична деформація як метод обробки для зміцнення має перевагу перед хіміко-термічним і термічним методами. У таблиці 1.1 наведені результати випробувань в умовах малоцикличної втоми гладких деталей із розрахунку 8–10 циклів/хв. Пластична деформація призводить до значного збільшення довговічності в порівнянні зі шліфуванням, причому найбільше збільшення довговічності досягається при прокатці роликів, коливається від 3 до 7,5 разів.

Таблиця 2.1 – Приклади показників терміну придатності залежно від способу обробки та матеріалу, що обробляється

Спосіб обробки	Число циклів до руйнування при σ_{max}				
	1360 МПа			1000 МПа	
	30ХГСА	08Х17Т	ВКС2Ю	ВНС5	ВНС2
1	2	3	4	5	6
Шліфування	7400	6900	7400	20750	19280
Віброшліфування	19100	19700	30000	-	53650
Вібронаклеп	21000	20300	22800	96300	105100
Обдування дробом	24000	22300	-	76300	-
Пневмодинамічний наклеп	-	35500	48400	88700	-
Обкатка роликом	24500	42000	>1000000	44000	150000
Алмазне вигладжування	-	-	35161	180000	-
Обдування металічним піском	12500	11200	21000	70000	85040
Обдування кварцовим піском	-	-	-	-	48500

2.7 Нпружний – деформований стан поверхневого шару при коченні предмета роликком

Контур залишилися вм'ятин на поверхні деталі в цілому обмежена залишковою кривою, яка в плані має форму еліпса з великою піввіссю a і малою b . Важливими характеристиками деформаційного стану матеріалу контакту є геометричні параметри залишкового відбитка. При прокатці будь-яких деталей роликком один з розмірів отриманого «відбитка» наближається до ширини сліду робочого інструменту, що в свою чергу впливає на процес хвилеутворення на оброблюваній поверхні і практично визначає формований мікрорельєф. За розмірами півосей інструменту a і b можна охарактеризувати глибину пластично деформованої зони в зоні контакту з інструментом.

У роботі наведено формули, які дозволяють обчислити розміри великого a , малого b і півосі еліпса (рисунок 2.24).

$$I = \sqrt{P_{11} \cdot (2 \cdot X_I + I_j) - X_I^2}$$

$$B = \sqrt{P_{21} \cdot (2 \cdot X_B + I_j) - X_B^2}$$

Де P_{11}, P_{21} Радіус кривизни робочої поверхні циліндра кочення (напр'ямні $P_{11} = P_{21}$); $2a$ і $2b$ – мала і велика осі контуру (в проекції) вм'ятини.

Було створено; h_a і h_b – відстані, розраховані вздовж дії сили P , починаючи від площини O , яка є центром залишкової вм'ятини, відносно найвіддаленіших від неї точок контуру еліптичного контакту без урахування наклепу;

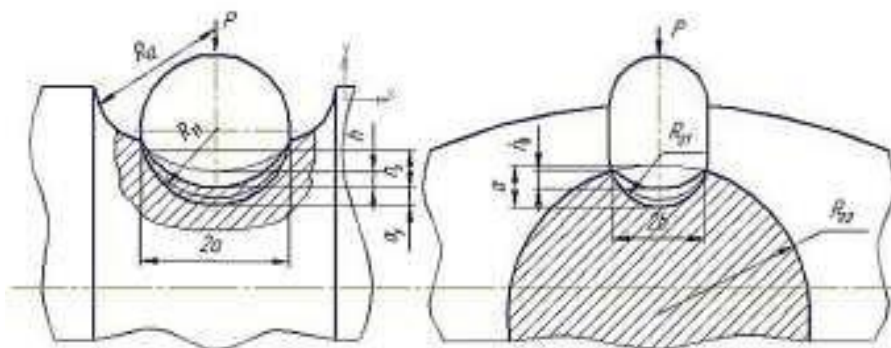


Рисунок 2.24. – Схема пластичного контакту між тілами довільної форми викривлення

Загальна конвергенція при пружно-пластичному контакті заготовок з інструментом складається з двох складових: рівної глибини імітованого відбитка, пружної конвергенції та залишкової конвергенції h , яка зникає після зменшення навантаження, що є наслідком зникнення пружної деформації інструменту та деталей наступним чином. Завдяки цій умові ми визначили всі величини, необхідні для обчислення значень a і b .

2.8 Ізостатичний метод ППД

Процес ізостатичної пластичної деформації — це процес механічної обробки з рівномірно розподіленими западинами на обробленій поверхні.

Пряма ізостатична обробка характеризується рівномірним розподілом тиску по всьому робочому об'єму i , при цьому, рівномірними втратами на тертя між інструментом і кульковими інденторами, які після кожного наступного циклу навантаження внаслідок перемішування займають випадкове положення. При цьому підвищується мікротвердість поверхневого шару заготовки, підвищується ступінь зміцнення і зменшується мікрооднорідність. Крім того, можна припустити, що, виходячи з досліджень інженера О.П. Кадоценка, враховуючи той факт, що завдяки дії вільних западин на поверхні ефект самозмазування досягається за значно більш сприятливих умов процесу, ніж при обробці прокаткою. Завдяки тому, що пори на оброблених поверхнях деталей закриті без «витоку» металу в порожнину пор, закриття отворів відбувається рівномірно по всій довжині.

Описаний спосіб можна реалізувати за допомогою пристрою, принципова схема якого зображена на рисунку 2.25.

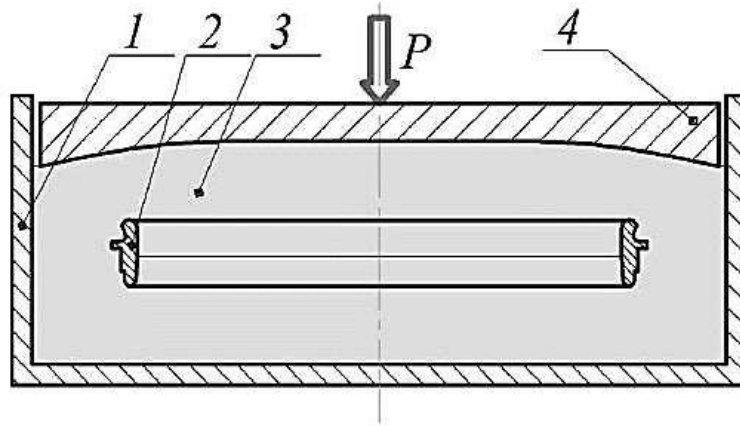


Рисунок 2.25.- Схематичне зображення пристрою ізостатичного пластичного деформування: 1 – робоча камера; 2 – деталь; 3 – кулястий насічки; 4 – поршень

У камері 1 розміщують об'єкт 2, що підлягає обробці, і сферичні індентори, в нашому випадку кульки 3. За допомогою поршня 4 задається необхідна за певних умов сила пластичної деформації поверхні, яка на схемі позначена літерою P . Описаний вище ізостатичний процес полягає в тому, що при створенні поршнем 4 тиску, тиск, який натискає поршень 4, створює тиск. кульки 3 передають створений тиск і розподіляють його по всіх поверхнях всередині робочої камери 1. На поверхнях предметної заготовки (рисунок 2.26, а, б), в зоні контакту. з кульками виникають вогнища деформації, рівномірно розподілені по всій поверхні деталі.

Розподіл центрів деформації рівномірний, що в свою чергу дозволяє зменшити деформацію оброблюваних деталей і значно підвищити стабільність геометричної форми поверхні заготовки (рисунок 2.27).

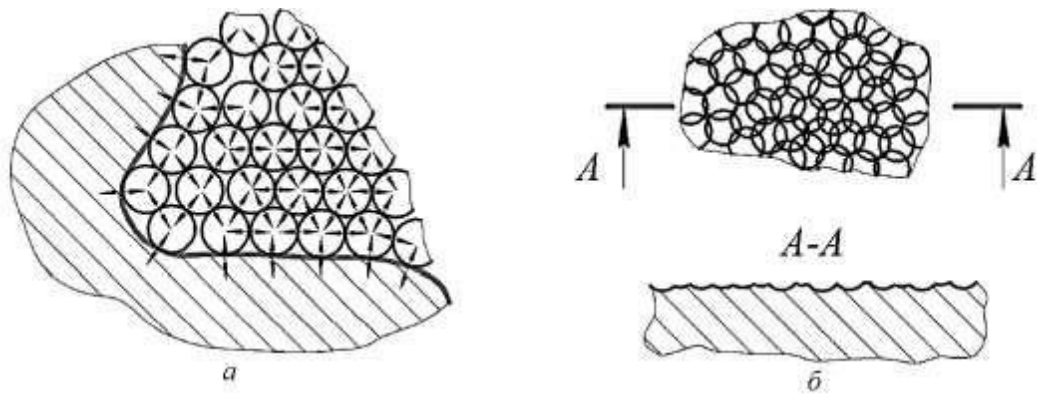


Рисунок 2.26.- Вплив сферичних інденторів на поверхню деталей малої жорсткості: а – поперечний переріз; б – вид збоку

При запропонованому способі зміцнення в зону деформації можна вводити мастильно-охолоджувальну рідину, наприклад гас або мастило, для поліпшення якості обробленої поверхні та зменшення тертя між самими кульками.

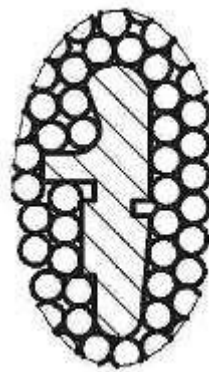


Рисунок 2.27.- Поперечний розріз обробної частини

Для розподілу сили удару по всій поверхні оброблюваної деталі та збільшення інтенсивності деформації можна змінювати положення деформаційних кульок щодо обробленої поверхні деталі. Це можна зробити, наприклад, накладаючи на робочу камеру 1 обертання з певною частотою n або коливання з певною частотою f за умови відсутності тиску P . За цих умов під дією сили інерції або під дією під впливом вібрацій кульки та заготовка рухаються відносно один одного, створюючи різні деталі через різну масу відносно кульок. Цей рух також може здійснюватися за рахунок перемішування куль у робочій камері 1 або за рахунок витікання деяких куль із робочої камери. За ці дії з м'ячем прилягаючи до оброблених поверхонь деталей спрямовуються в інші положення. Зменшення інтенсивності

переміщення кульок відносно обробленої поверхні деталі може відбуватися і при ущільненні об'єму кульок за умови прикладання сили R .

Використання процесу ізостатичного поверхневого зміцнення має такі переваги:

- Спосіб можна використовувати для зміцнення поверхонь будь-якої просторової та поперечної конфігурації.

- спосіб армування не обмежений жорсткістю підконструкції;

- Армування цим методом не спотворює геометричну форму поверхні нежорстких деталей.

- Метод дуже універсальний і не вимагає складного і дорогого обладнання для його реалізації.

- Це зміцнює поверхневий шар і закриває пори, але не відбувається «витікання», що є найкращим способом досягнення ефекту самозмащення.

Детальне дослідження ізостатичної ППД потребує створення математичної моделі цього процесу. Використовуючи модель процесу ізостатичної пластичної деформації, можна визначити оптимальні режими обробки для подальшого досягнення рівномірного мікрорельєфу поверхні та необхідних параметрів якості.

В даний час загально визнано, що основними факторами, що впливають на якісні показники поверхневого шару деталі при пластичному (ізостатичному) деформуванні поверхні, є сила деформації і площа контакту з деталлю.

Використовуючи математичний пакет MathCAD, в роботі представлено залежність між відношенням площі поверхні обробленої деталі до площі, зайнятої мітками індентора $S=F/F_0=f(N)$ і кількістю циклів навантаження N для деталі з малою жорсткістю та пористі спечені композиції (рисунок 2.28). Розклад розрахований на трьох осіб.

Випадки: 1) $r = 3$ мм; 2) $r = 4$ мм; 3) $r = 5$ мм. Для всіх випробувань ми припускаємо $h = 0,3$ мм.

Топографію обробленої поверхні моделювали за допомогою математичного пакету MathCAD, який графічно відображає розподіл точок контакту заготовки з інденторами в залежності від їх кількості, які в свою чергу взаємодіють з обробленою поверхнею та циклами навантаження (рис. 2.29).). Для випробувань ми припускаємо: Радіус індентора $r = 4$ мм. Побудова ведеться на 1/10 робочої поверхні деталі. Механізм розташування інденторів і формування рельєфу поверхні є випадковим.



Рисунок 2.28.- Залежність відношення обробленої площі до площі, зайнятої мітками індентора, від кількості циклів навантаження.

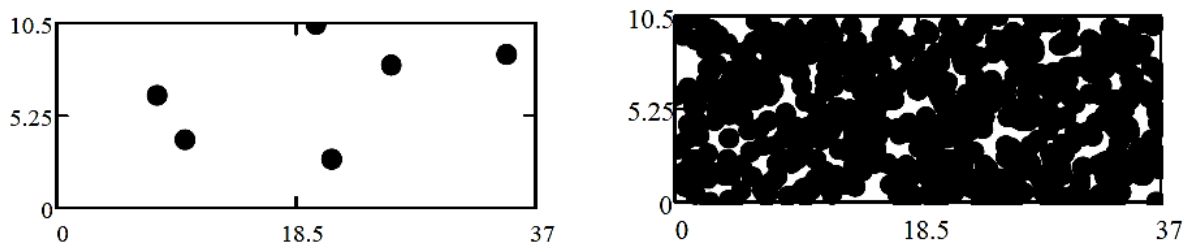


Рисунок 2.29.- Топографія обробленої поверхні деталі: а – після першого циклу; б – після 100 циклів навантаження

З аналізу графіка на рисунку 2.28 отримуємо залежність відношення поверхні обробленої деталі до площі, зайнятої слідами індентора, від кількості виконаних циклів навантаження. На малюнку 2.29 ми бачимо топографію обробленої поверхні, з якої можна зробити висновок, що відношення F/F_0 істотно не змінюється після 100 циклів навантаження. З цього можна зробити висновок, що вся оброблена поверхня отриманої деталі покрита слідами вм'ятин. Крім того, доцільно проводити додаткову обробку для підвищення вартості за рахунок підвищення ступеня міцності, мікротвердості поверхневого шару зразка та зниження рівня мікрооднорідності.

Ізостатичний метод PPD для деталей з низькою жорсткістю та розроблене для його реалізації обладнання дозволяють отримувати високоякісний продукт з необхідною функціональністю. Застосування даного способу деформування поверхні істотно підвищує продуктивність обробки та зміцнення деталей. Завдяки високій універсальності цього методу можна досягти найбільшого економічного ефекту, його реалізація не потребує складного чи дорогого обладнання, ним можна обробляти деталі різної конфігурації. Такий спосіб забезпечує рівномірну якість поверхні на всіх ділянках обробки, а отриманий мікрорельєф сприяє значно кращому утриманню мастила, що знижує знос деталей машин.

2.9 Метшляхом згладжування ППД за допомогою ультразвуку

Д за допомогою ультразвуку можна описати за допомогою реологічних моделей інструментальних матеріалів, які відображають їх пружно-пластичні властивості. Використаний підхід дозволяє розкрити механізми впливу ультразвуку на процеси ППД.

Для перевірки процесу PPD ультразвуком використовувалися наступні матеріали: сталь 10 (100 HB), 45 (150 HB, 50 HRC), Алюмінієві сплави ШХ15 (210 HB, 55 HRC), Д16Т (120 HB), В95 (190 HB).

Використовувався знімач з твёрдосплавним наконечником ВК15 і радіусами кульки 1, 2, 4 і 6 мм.

Реалізація режиму імпульсного деформування та використання переваг цього режиму забезпечується методом ультразвукового згладжування. Суть цього методу полягає в тому, що між інструментом 1 і деталлю 2 встановлюється початковий зазор δ , як показано на малюнку 2.30. Інструмент у вигляді кулькового наконечника кріпиться до концентратора магнітострикційного перетворювача, який створює подачу і коливальний рух з певною частотою і амплітудою ξ на оброблену поверхню заготовки.

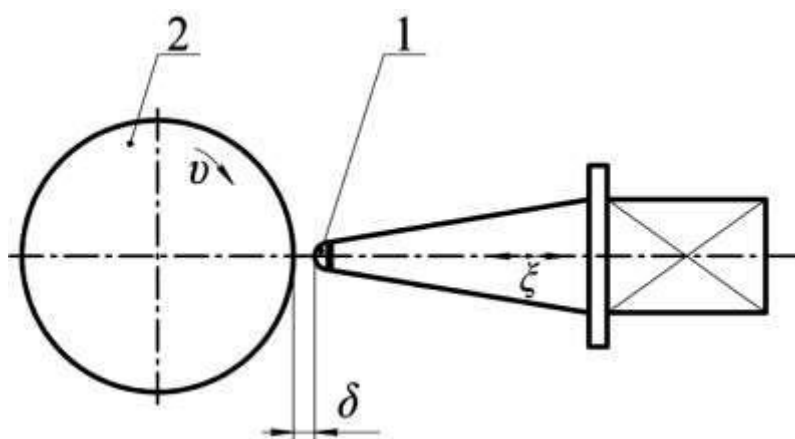


Рисунок 2.30.- Схема ППД з ультразвуком: 1 – інструмент; 2 – деталь

Амплітуда вібрації ξ . У процесі РPD інструмент періодично проникає в поверхню деталі на глибину:

$$h = \xi - \delta - h_{\text{пр}},$$

Де $h_{\text{пр}}$ – пружне стиснення деталі.

При вході інструмент відділяється від обробленої поверхні деталі. На поверхню діє тільки динамічне навантаження. Цей метод також дозволяє обробляти нежорсткі деталі та деталі з несучільними поверхнями і не викликає переливів або завалів на кінцях деталей. Під час перегляду літератури подібних моделей РPD не виявлено. Для визначення умов, за яких відбувається ППД, необхідно провести теоретичні та експериментальні дослідження взаємодії контактуючого інструменту з деталлю в процесі.

Для проведення досліджень розроблено випробувальний стенд, наведений на рисунку 2.31, в основі якого токарно-гвинторізний верстат 16B05AФ10. Все додаткове обладнання та інструменти кріпляться на тримачі ножів машини.



Рисунок 2.31.- Загальний вигляд 16B05AF10 з обладнанням згладжування

Важливим елементом технологічного процесу PPD є розподіл прав обробки. Це ще важливіше при обробці поверхні прецизійних деталей. Згідно з даними, розмір деталі після згладжування може коливатися до 3–5 мкм. Встановлено, що при ультразвуковому згладжуванні розмір формованої деталі практично не змінюється. Величина припуску на цей процес пластичної деформації визначається за формулою:

$$h = \xi - \delta - h_{\text{пр}}$$

де $h_{\text{пр}}$ – допуск на діаметр заготовки, мкм; b – залежний коефіцієнт від матеріалу деталі (наприклад, для сталі 45 $b = 4,6$); По-перше, середнє арифметичне відхилення початкового профілю поверхні, мкм.

Як видно з наведених співвідношень, вони не враховують радіус інструменту, глибину проникнення інструменту в деталь і механічні

властивості матеріалу деталі. На основі цього була проведена серія експериментів з вивчення зміни розмірів деталей під впливом режимів обробки. Випробування проводили на зразках сталі 10 (100 HB), 45 (150) HАлюмінієві сплави В, 50 HRC), SHX15 (210 HB, 55 HRC), D16T (120 HB), В95 (190 HB). Згладжування ППД проводили інструментом із твёрдосплавним наконечником ВК15 з радіусом кульки 1, 2, 4 та 6 мм. Розміри деталей до і після обробки вимірювали за допомогою вимірювальної машини «Oliveti» і важільного затискача з кроком 1 мкм. Експериментальні залежності зміни діаметра оброблюваної деталі від глибини проплавлення вістря інструмента при обробці алюмінієвих сплавів наведені на рисунку 2.32.

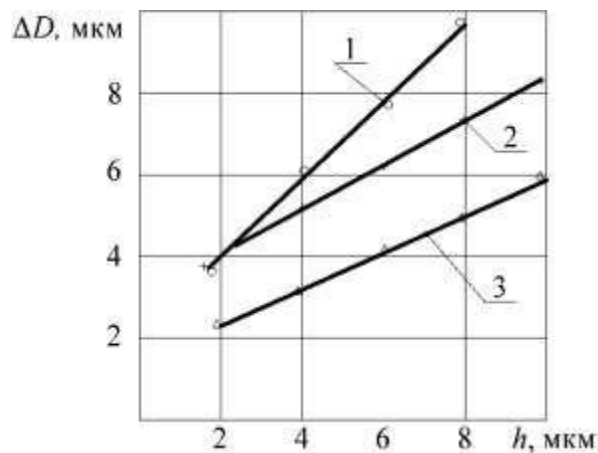


Рисунок 2.32.- Залежність діаметра деталі від глибини проникнення інструменту: 1 – D16T; 2 – В95; 3 – PV90

Наведені співвідношення показують, що зміна діаметра деталі знаходиться в прямій залежності від твердості матеріалу обробленої деталі. Зміна тим менша, чим більша твердість деталі. На зміну діаметра після обробки також істотно впливає початкова шорсткість обробленої поверхні, як показано на малюнку 2.33.

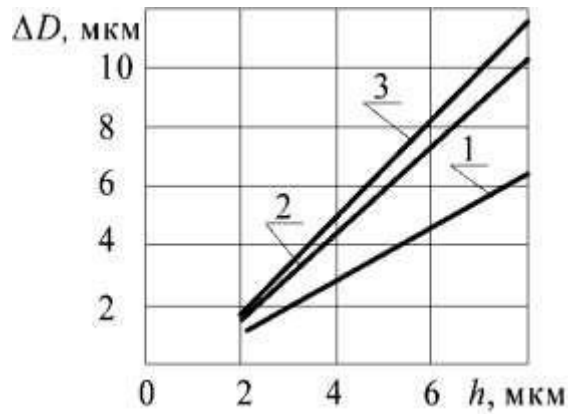


Рисунок 2.33.- Залежність зміни діаметра деталі від впливу глибини проникнення індентора: матеріал заготовки – D16; ξ – 12 мкм; S- 0,01 мм/об; R – 2 мм; 1 - Ra 0,01; 2 – Ra 0,07; 3 – Ra 1,5

При малих глибинах проникнення вплив на деталь зменшується, оскільки подрібнюється лише верхня частина мікрооднорідності. У міру збільшення глибини проникнення інструменту більш високі вершини подрібнюються сильніше через значні контактні тиски в зоні контакту, викликані малою фактичною площею контакту інструмента з деталлю. У всіх випробуваннях, незалежно від матеріалів заготовки, ці співвідношення мають однаковий характер. Зміна діаметра заготовки після обробки вершинами з різними сферичними радіусами показано на рисунку 2.34.

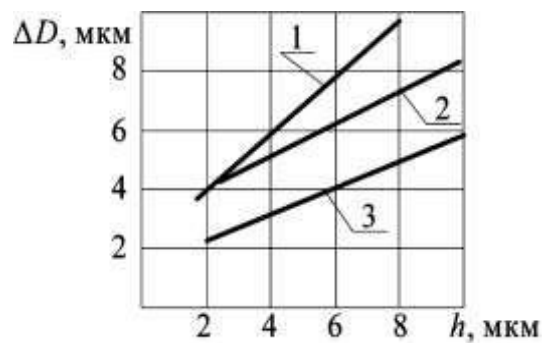


Рисунок 2.34.- Вплив радіуса кульки вістря на зміну діаметра деталі: ξ – 12 мкм; S – 0,01 мм/об; V – 1,33 м/с; 1 – R = 2 мм; 2 – R = 4 мм; 3 – R = 6 мм

Коли РРД виконується інструментом із меншим радіусом кульки наконечника, діаметр деталі зменшується значно більше, ніж при обробці інструментом із більшим радіусом, але з такою ж глибиною занурення.

Поясніть, що контактний тиск, пов'язаний із деталлю, пов'язаний із площею контакту самого інструменту. Це доводить, що для інструменту з меншим радіусом кульки наконечника площа контакту менша, а тому контактний тиск вищі, ніж для інструменту з більшим радіусом робочої кулі.

Метод згладжування попереднього зазору PPD дозволяє реалізувати режим імпульсної деформації, який може гарантувати, що контакт між інструментом і деталлю порушується безпосередньо під час процесу обробки, остаточно усуваючи зв'язок між поверхнею деталі та інструментом. У даній роботі отримано залежність, яка дозволяє визначити пластичну деформацію за допомогою передзazorного ультразвукового згладжування, що дозволяє однозначно визначити розміри деталей після механічної обробки. Крім того, отримано співвідношення для прямого розрахунку розмірів деталей.

2.10 Висновки з розділу

Розглянувши наведені в роботі способи пластичного деформування поверхні, можна вибрати оптимальний варіант «важільних» деталей і відповідати експлуатаційним вимогам.

Найбільш оптимальним є метод прокатки заготовки роликком, що забезпечує значне підвищення міцності і мікротвердості оброблених поверхонь, вони більш зносостійкі, ніж, наприклад, поверхні, отримані лезовою або шліфувальною обробкою.

РОЗДІЛ 3

3.1 Форма пластично деформованого шару.

Напружено-деформований стан у центрі деформації

При розрахунку напружень заготовки початок координат знаходиться в центрі контакту між циліндром і заготовкою, вісь x і y збігаються відповідно з великою і малою осями симетрії еліптичної платформи, а вісь z збігається з напрямом контактного навантаження з силою P . Результати розрахунків залишкових напружень розраховано для ролика з наступною геометричною параметри: $R_{11} = 27$ мм, $R_{21} = 7$ мм, $R_{12} = 25$ мм з глибиною вдавнення $h =$

0,014 мм показано на рисунку 3.1, глибина проникнення $h = 0,028$ мм показана на малюнку 3.2, а глибина проникнення $h = 0,042$ мм є показано на рисунку 3.3.

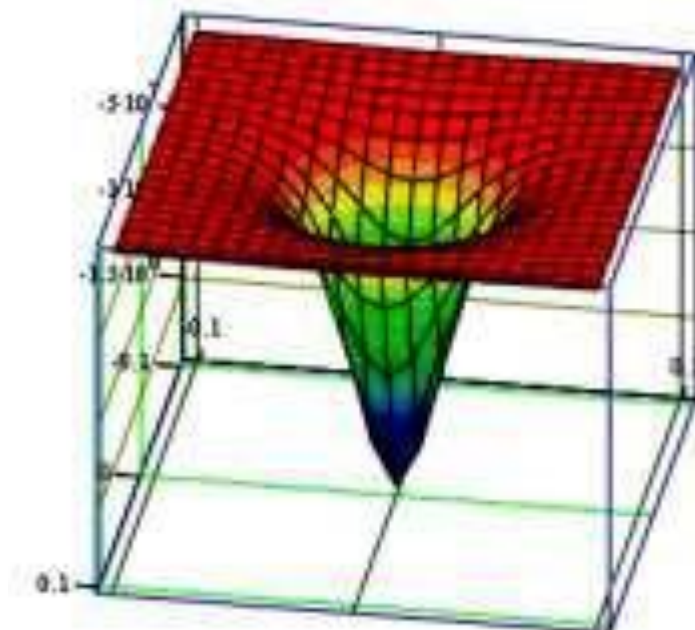
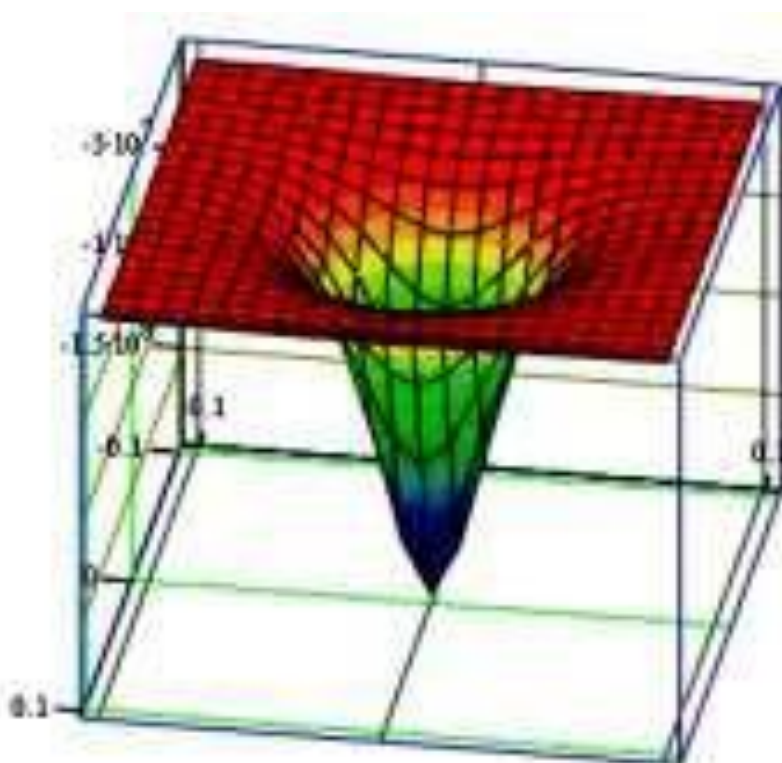
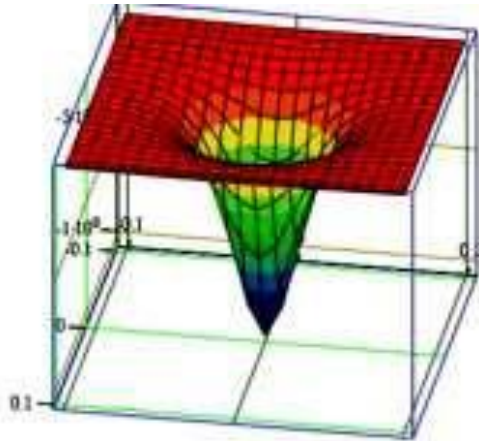


Рисунок платформа, на поверхню якої розподіляється тиск.



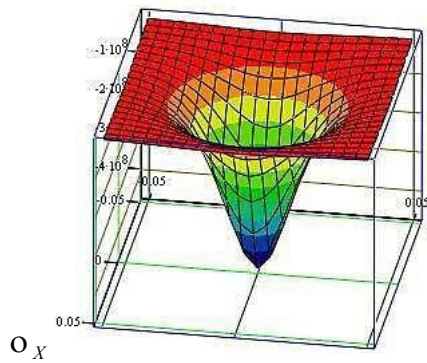


σ_z

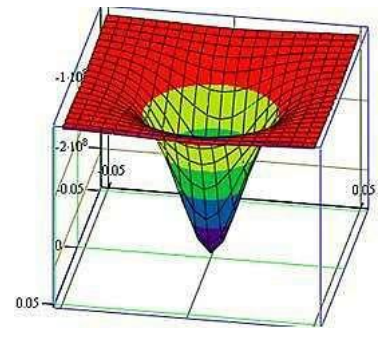
Рисунок 3.1 – Розподіл $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

Гарантований контакт ролика по глибині

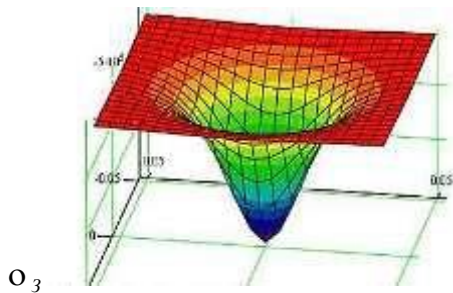
Виїмка $h = 0,014$ мм



σ_x



σ_y



σ_z

Рисунок 3.2 –
Розподіл $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

Гарантований контакт ролика по глибині

Виїмка $h = 0,028$ мм

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що найбільші значення напруги припадають на вісь z, яка проходить через центр вм'ятини. У цих умовах напруги поступово зростають залежно від росту

глибина різання інструменту. Таким чином, ми отримуємо нормальні напруження в центрі вм'ятини, які в свою чергу становлять $\sigma_z = -193$ МПа при $h = 0,014$ мм і $\sigma_z = -2140$ МПа при $h = 0,042$ мм; $\sigma_u = -104$ МПа при $h = 0,014$ мм і $\sigma_u = -1153$ МПа при $h = 0,042$ мм; $\sigma_x = 98$ МПа з $h = 0,014$ мм і $\sigma_x = -314$ МПа при $h = 0,042$ мм.

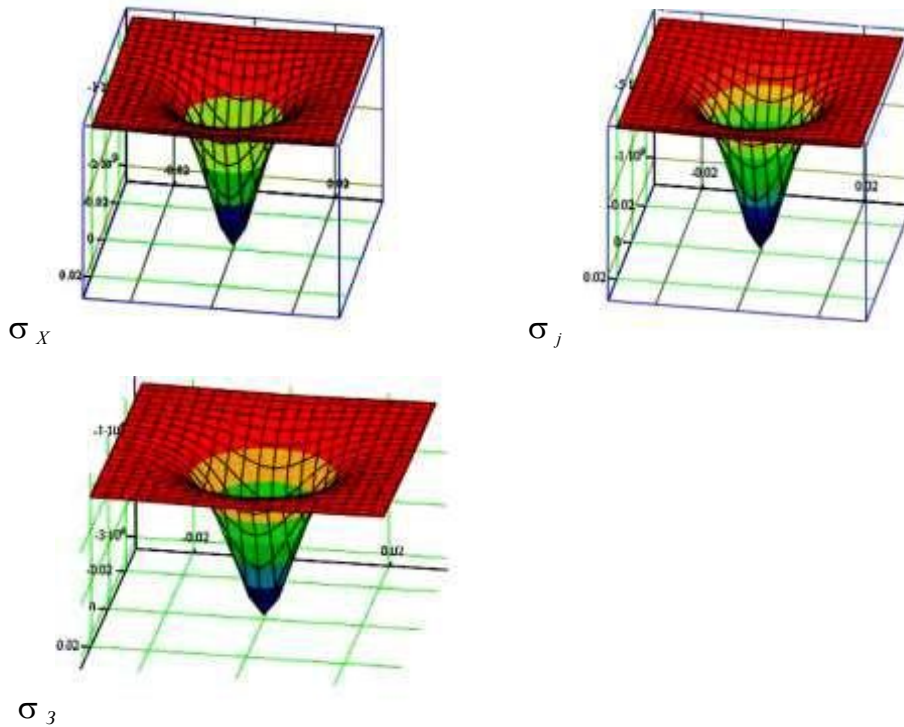


Рисунок 3.3 –
Розподіл $\sigma_x \sigma_j \sigma_z$

Гарантований контакт ролика по глибині

відступ $h = 0,042$ мм

Виходячи з умов, що на межі пружно-пластичної області ($S \cdot zh$) можна розрахувати глибину поширення пластичної деформації $S \cdot h$:

З наведених вище формул отримуємо розподіл напружень залежно від глибини вдавнення та z (рисунок 3.4).

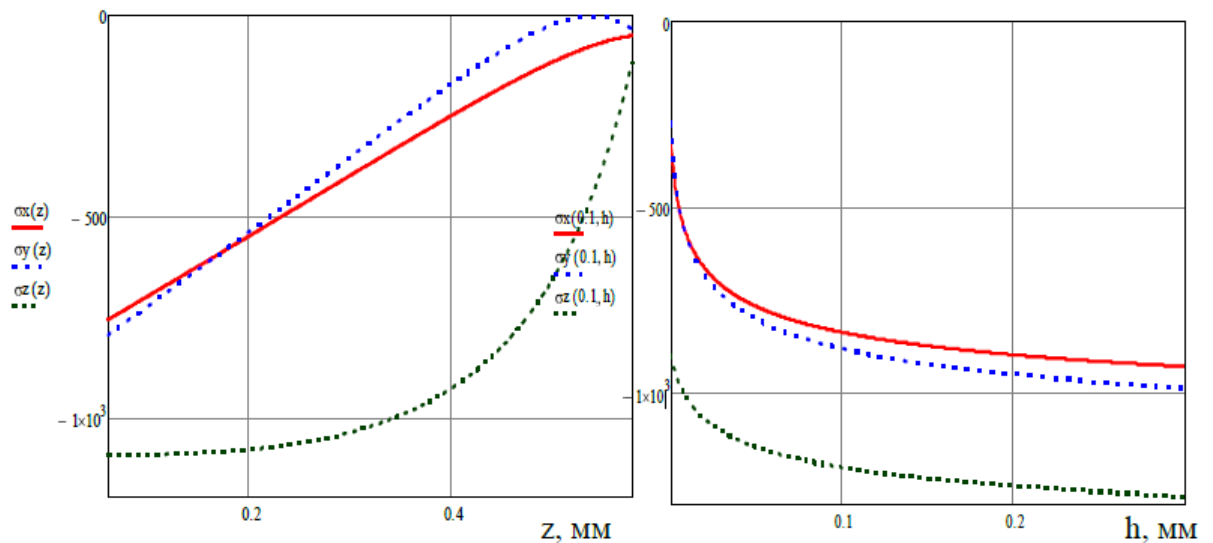


Рисунок 3.4 – Залежність глибини вдавлювання валика h від напружень на відстані від поверхні z

- Найбільш небезпечним є пік хвилі, оскільки саме тут може бути зруйнований поверхневий шар. Це небезпечно тим, що дефект зазвичай візуально не помітний, так як валок частково хвилюється (тим самим «маскуючи» дефекти), які виникають при роботі обробленої деталі під час прокатки.

- Зі збільшенням відношення осей a і b еліпса збільшується також нерівномірність розподілу напружено-деформованого стану безпосередньо в поверхневому шарі деталі.

3.2 Матричне моделювання процесу детальної прокатки роль

Д можна використовувати для обробки різних поверхонь: плоских поверхонь колінчастих і шліцьових валів, різьби, циліндричних коліс, шестерень тощо.

Для виконання розрахунку всіх параметрів напружено-деформованого стану поверхневого шару заготовки в процесі прокатки методом скінченних елементів були розглянуті дослідження, які були у вільному користуванні, але не забезпечували заданої точності.

У другій зоні першої зони під впливом інтенсивних деформацій і за умови

гідростатичного стиснення вдається усунути частину утворених дефектів.

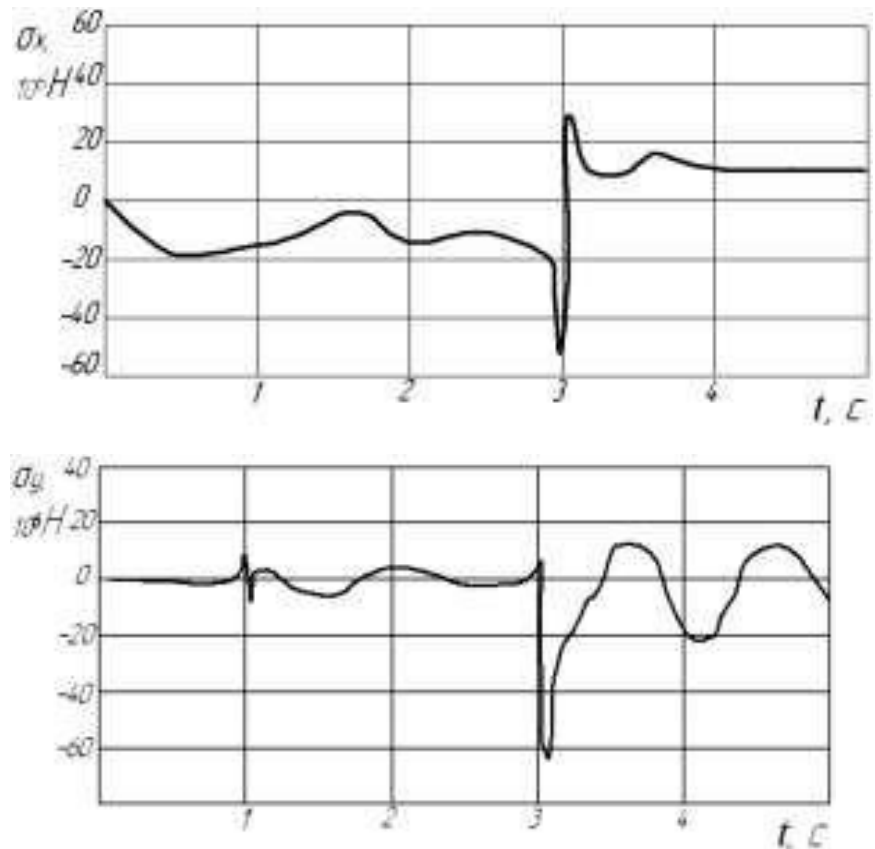


Рисунок 3.1.- Нормальний поверхневий натяг

У цій роботі ми виявили, що необоротне пошкодження металу поверхневого шару заготовки під час термічної обробки може відбуватися частіше в зоні пластичної хвилі, але особливо на її вершині.

3.3 Висновки до розділу

1. Проведено чисельне моделювання процесу деформування поверхневого шару матеріалу деталі під час прокатки, за допомогою якого визначено напружено-деформований стан матеріалу залежно від параметрів прокатки.
2. Напружено-деформований стан визначають у центрі деформації при вдавлюванні тороїдального ролика з довільною кривизною робочої поверхні в поверхню з довільною кривизною.

РОЗДІЛ 4

4.1 Розробка стартап проекту

Таблиця 4.1 - Загальна інформація

зміст ідеї	Області застосування	ІН Переваги для користувача
розвиток поверхневого методу пластична деформація з підвищеною екологічністю	обробка деталей Потім машина покарання Потім гвинторізний верстат	Менші витрати на стандартними методами абразивними інструментами Більш екологічний, ніж більшість статичних методів РРД Дешевше в масовому виробництві

Таблиця 4.2 - Визначення позитивної, негативної чи нейтральної сторони

НІ	Техніко- економічні властивості	Кконкурентів			Злобок ва сторона	Нейтраль на сторона	Зпоган а сторона	
		Мій проект	Кконкурент ів № 1	Кконкурент ів № 2				Кконкурент ів № 3
1	ІНШматок	+	-	-	+	-	-	+
2	Нполіпшення	-	-	-	+	-	+	-
3	Тзоровий контакт	+	-	-	-	-	-	+
4	швидкість	+	+	+	-	-	-	+
5	зберегти	+	-	-	-	-	-	+
6	Пінтерв'ю	-	+	+	-	+	-	-

4.2 Технологія проекту

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність проекту

НІ	І частина проекту	Технологія його виконання	Ндступність технології	доступність технології
1	Зстворити інструмент	Потім машина покарання	+	+
2	Диплом	Потім Верстат з ЧПУ	+	+
4	Пспроба	Зорган сертифікації	+	-
5	Зпробний запуск	відділ маркетингу	+	-
6	масове виробництво	Потім машина покарання	+	-

4.3 Деякі збільшення попиту на продукцію

Таблиця 4.4 – Характеристики ринку

НІ	Піндикатори ринку	лікарня функція
1	Кількість головних дійових осіб	3 одиниці
2	загальний обсяг продажів	250 000 грн
3	динаміка ринку	сросте
4	Ннаявність обмежень на в'їзд	ККонкуренція, низька обізнаність споживачів, новий метод
5	Здетальні вимоги стандартизації та сертифікації	ПЕкспорт даних, сертифікація, контрольні
6	Зсередня прибутковість у галузі	100%

Таблиця 4.5 - Потенційні споживачі продукту

НІ	ПВивчіть потреб ринку	Кклієнтська база	ІНДосконалість в поведінка споживача	ІНвимоги були
1	Диплом	ПКомпанії с серійне або масове виробництво ІНвиробництв а	ІНйти машини Потімтокарно- фрезерні верстати Потімсаморізи	ПУдача спорожні місця в робочій зоні
2	Тзорвий контакт деталі	ПКомпанії с серійне або масове виробництво ІНвиробництв а	ІНйти машини Потімтокарно- фрезерні верстати Потімсаморізи	Безпека розташування порожніх місць нижче Хфіксація ас
3	ергономічність	ПКомпанії с серійне або масове виробництво ІНвиробництв а	ІНйти машини Потімтокарно- фрезерні верстати Потімсаморізи	скорочення кількість працівни ків місць

Таблиця 4.6 – Загрози ринку збуту

НІ	фактор	Зміст	реакція
1	Нсвідомість споживач	НЦей продукт зазвичай ІНвикликає негативну реакцію	ІНвідмова споживчі товари
2	Нцей метод	ККлієнти звикли стандартні методи роботи	Шопінг конкурентів

3	Низькокваліфікований Співробітники	Через некомпетентність Оператори можуть відмовити необхідний	ІНвже використовують ІНвивчені операції
---	------------------------------------	--	---

Таблиця 4.7 – Варіанти реалізації

№	ймовірність	Зміст	реакція
1	реклама	застосування методів знання методу	інтерес
2	Кконкурентоспроможна ціна	Існує багато інших методів дешевше, ніж у конкурентів	Збездіяльність купити
3	Ппопереднє навчання	ІНнавчання операторів і Поради щодо керування методами	Пбуде співбесіда створити пропозицію

Таблиця 4.8 – Аналіз рівня ринку

ДОможливості в конкурентном у середовищі	У чому проявляється ця риса?	ІНвплинули на господарську діяльність підприємства
1. Визначте вид змагань	монополія	ІЗатвердження проекту Значна різниця у вартості
2. За рівнем змагань	маса	Наймайге логістичні компанії
3. За галузевою ознакою Знак	ІНв галузі	-
4. Конкуренція за видами товарів	Ттипи яєчників	Кточність пристрій
5. За характером конкурентних переваг	цновий	Низькі витрати
6. За інтенсивністю	класичний	-

Таблиця 4.9 – Аналіз галузевої конкуренції за М. Портером

Зскладський аналіз	Періодичні конкуренти в галузі	Пконкурентоспроможні	Пзапізнилих	ККлієнти	Тзміна яєчників
	САНДВІК Д.І Свидалити	3	5	1500	Ручне годування
Інпотомство	Рідний бій	Низька місткість	НФакторів багато, тому що принцип дії зовсім інший	ЗНе завжди є можливість погасити барну подачу Інсисти	Ці методи мають свої переваги і недоліки

Таблиця 4.10 – Фактор конкуренції

НІ	фактор	виправдання
1	Інрот	Ціна пристрою значно нижче, ніж у пруткового живильника
2	точність	Для деяких фіксаторів лише новий пристрій забезпечує достатню точність
3	Бізнес	Новий метод використовує максимальну кількість матеріалу
4	ергономічність	Нова технологія значно зменшує робочу площу

Таблиця 4.11 – Порівняння сильних і слабких сторін нового методу РРД

НІ	конкурентний фактор	Бахчи 1-20	конкурсне оцінювання						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Інрот	20	С	Д	С				
2	точність	18		С	С	Д			
3	Бізнес	20	Д	С		С			
4	ергономічність	10			С	Д	С		

Таблиця 4.12 – SWOT аналіз

Сильні сторони: економічна точність ціни	Слабкі сторони: Довіра до якості кваліфікація
Можливості: навчання маркетингу реклама	Загрози: Низька обізнаність Довіряйте своїм конкурентам

Таблиця 4.13 – Варіант впровадження

№	Альтернатива Поводьтеся	Моральний закупівля ресурсів	Зшляхи реалізації
1	Лгостинний	Прозірвання договорів бути реалізованим	від одного місяця до шести місяців
2	реклама	ІНДепозитні гроші впровадження	від шести місяців до одного року
3	ДОсвітло	поширення інформації	від одного місяця до двох років

4.4 Розробка ринкових стратегій

Таблиця 4.14 - Вибір цільової групи

№	Створіть профіль вашої цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти товар	передбачува ний попит в цільовій групі (сегменті)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	висота входу в сегмент
1	Одна машина для малого бізнесу	мале ньки й	70%	мале ньки й	80%
2	Зсередня компанія 4-5 машин	мале ньки й	50%	мале ньки й	50%

3	малі підприємства	Середній	30%	ІНЕліка	40%
Які цільові групи обрано: 1,2,3					

Таблиця 4.15 – Ринкові стратегії

НІ	ДОВ якості альтернатив и була прийнята розробка проекту	Зстратегія охоплення ринку	Кпромений конкурентів	основний стратегія
1	Лгостинний	Нзавдання впровадження маркетингу Переслідувати	САНДВІК DІ Свидалити	Лкерівництво продовжується Вартість
2	реклама	Постанній наявність продукту у вусі	САНДВІК	Зспеціалізація
3	ДОсвітло	Пінтерв'ю створений самими робітниками	САНДВІК Свидалити	різноманітність

Таблиця 4.16 – Стратегія конкурентної поведінки

НІ	Чи є проект перспективним?	цАудиторія нова чи вже наявна?	Чи копіює компанія основні функції?	Зстратегія конкурентної поведінки
1	Лгостинний	+	+	Більший морж для виробників

2	реклама	-	-	ІНЗапустить власну рекламу
3	ДОсвітло	+	-	Відданість чорному блиску нашого продукту

Таблиця 4.17 – Вибір стратегії позиціонування

НІ	ІНпотреби клієнтів щодо товару	Базова стратегія	Кгаряче оспорювані посади
1	Низькі витрати	Лкерівництво продовжується	Ні найдешевша ціна
2	Достатня точність	Зспеціалізація	Ні кращу точність ІНцей вид внеску
3	ПВисота	різноманітність	комфорт ІНвикористовувати

4.5 Ррозробка маркетингової програми

Таблиця 4.18 – Основні переваги

НІ	Псволота	Перевага	Пзмагання з конкурентами
1	Тзорний контакт	електрична точність	Тзір у всіх видів деталі
2	ІНШматок	Дешеве виробництво	Деякі товари коштують дорожче 1000%
3	ергономічність	сама робота Просте налагодження Безпека	Менша робоча зона Потрібен додатковий моніторинг пристрою Ннесе ризики

4	Бізнес	Збереження інструменту і його повне використання	Не потрібно більше Обробка Дрібні помилки
---	--------	--	---

Таблиця 4.19 – Моделі продуктів

рівні продукту	НдТness		
Тяечник для садум	Інструмент PPD для всіх типів картриджів		
Тяечник а насправді	Індульгенції	лікарняфункція	
	Зфіксатор тону	До 2000 Н	
Ізнаковий			
	Якість: сертифіковані експериментальні випробування		
	Бренд: КБ "ім. М. Скляренка"		
Тяечник із збільшенням	Продається		
Запатентовано в сертифікаційному центрі			

Таблиця 4.20 - Рівень цін

рівень цін на сировину	рівень цін на сировину	рівень доходів цільової групи	Ліміти встановлені
сАмінь	аналоги	споживач	ціни
4000	250 000	900 000	3000-15000

Таблиця 4.21 – Створення системи розподілу

Зспецифіка купівельної поведінки цільових клієнтів	функції збуту продукції	розмір аудиторії	Оптимальна система розподілу
--	-------------------------	------------------	------------------------------

нормально Потрібні інструменти свони вже займають своє місце постачальники	Нові чіти клієнтів постійно рекламувати товар	все Компанії, оснащені машинами Тип токарного верстата з ЧПУ	Лгостинний
--	---	--	------------

Таблиця 5.21 – Концепція маркетингової комунікації

Прегбінець Клієнти	Канальний спілкування	Кпроменист ий ст	реклама Поводьтєся	Кконцепція рекламної приваблив ості
ПСволоч ж автоматизаці я виробництва	Пнтернет TheВист авки Lephone	Тзоровий контакт ІНПрост ота	Лкерівництво на витрати	ппD і зберєгти

4.8 Висновки

Під час розробки ми зрозуміли, що пристрій має великі переваги перед існуючими методами пластичної деформації поверхні. Після верстки на мій погляд, «лідер за вартістю», конструкція буде життєздатною на ринку завдяки своїм перевагам у ціні, точності та економічності. Якщо проект не знаходить особливого попиту на ринку з такою схемою, можливо, доведеться використовувати тип «диференціації», за допомогою якого я буду поступово привчати цільову аудиторію до такого типу обробки.

ВИСНОВКИ

В ході даної роботи досягнуто ефекту зниження матеріаломісткості та енергомісткості продукції, що безпосередньо впливає на її рентабельність та конкурентоспроможність.

Порівняно з фінішними операціями з абразивним інструментом і примусовим охолодженням зони різання, процеси поверхневої пластичної деформації (ППД) і, зокрема, процес прокатки заготовки роликом є кращими з екологічної точки зору.

При обробці методами поверхневої пластичної деформації (ППД) відбувається міцний контакт деформуючого інструменту з поверхнею заготовки в умовах їх відносного руху, і з нашого боку «Важіль» ми отримали оптимальні показники шорсткості та міцності поверхні. .

У ході дослідження проведено порівняльний аналіз існуючих методів поверхневого пластичного деформування та обрано оптимальний спосіб технологічного забезпечення зміцнення поверхневого шару лісогосподарських машин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондар А. М. Технічне обслуговування мехатронних систем: навчально-методичний посібник для самостійної роботи. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 140 с.
2. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Rogovskii, I., Dudnikov, I., Shevchuk, V., Sheichenko, D., Derkach, O., Shatrov, R. (2024). Determining patterns in the separation of hemp seed hulls. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (130)), 54–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309869>.
3. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Tykhyi, A., Kuzyk, A., Dvornyk, A., Derkach, O., Lysenko, S., Banniy, O., Hrynkiv, A. (2024). Revealing patterns of change in the tribological efficiency of composite materials for machine parts based on phenylone and polyamide reinforced with arimide-T and fullerene. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (129)), 6–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304719>.
4. Rogovskii Ivan, Sivak Igor, Shatrov Ruslan, Nadtochiy Oleksandr. Agroengineering studies of tillage and harvesting parameters in soybean cultivation. *Engineering of Rural Development*. 2024. Vol. 23. P. 965-970. DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF195.
5. Yablonskyi P., Rogovskii I., Sobczuk H., Virchenko G., Volokha M., Vorobiov O. (2024). Computational approach to geometric modeling of plow bodies. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 11(1), 2024, pp. E9–E18. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(1).e2)
6. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Koropchenko, S., Rogovskii, I., Gorbenko, O., Volianskyi, M., Sheichenko, D. (2024). Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (128)), 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>.
7. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O., Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3

(127)), 37–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567>.

8. Rogovskii I.L., Reznik N.P., Osadchuk N.V., Ivanova T.M., Zinchenko M.M., Melnyk L.Yu., Ryzhakova H. (2024). Institutional aspects of development of budget system: theory and practice of Ukraine. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 489. pp 925–937. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0_78.

9. Rogovskii, I.L., Reznik, N.P., Druzhynin, M.A., Titova, L.L., Nychay, I.M., Nikulina, O.V. (2024). Non-uniform field of concrete deformations of circular cross-section columns under cross bending applying digital image correlation method. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 489. pp 939–951. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36895-0_79.

10. Volokha M., Rogovskii I., Fryshev S., Sobczuk H., Virchenko G., Yablonskyi P. Modeling of transportation process in a technological complex of beet harvesting machines. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, 2023, Vol. 10(2), pp. F1-F9, doi: 10.21272/jes.2023.10(2).f1 Scopus

11. Romaniuk, W.; Rogovskii, I.; Polishchuk, V.; Titova, L.; Borek, K.; Shvorov, S.; Roman, K.; Solomka, O.; Tarasenko, S.; Didur, V.; Biletskii, V. Study of technological process of fermentation of molasses vinasse in biogas plants. *Processes*. 2022. 10. 2011. <https://doi.org/10.3390/pr10102011>. Q2

12. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Igor Sivak, Liudmyla Berezova, Andrii Vyhovskyi. Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*. 2022. Vol. 21. P. 884-890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.

13. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Ruslan Shatrov, Oleksandr Bannyi, Oleksandr Nadtochiy. Technological effectiveness of machine for digging seedlings in nursery grown on vegetative rootstocks. *Engineering for Rural Development*. 2022. Vol. 21. P. 924-929. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF290>.

14. Romaniuk W., Rogovskii I., Polishchuk V., Titova L., Borek K., Wardal W.J., Shvorov S., Dvornyk Y., Sivak I., Drahnev S., Derevjanko D. Study of methane fermentation of cattle manure in the mesophilic regime with the addition of crude glycerine. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 9. P. 3439. <https://doi.org/10.3390/en15093439>. Scopus Q2.

15. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O.

Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses. Archives of Materials Science and Engineering. 2022. Vol. 113(1). P. 13–18. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6967>. Scopus Q2.

16. Rogovskii, I., Lyubarets, B., Borek, K. Analyticity of non-stationary processes of change in diagnostic parameters of hydrostatic transmissions of harvesters. Machinery and Energetics, 2022, 13(1), pp. 67–76.

17. Rogovskii, I.L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery and Energetics, 2021, 12(1), pp. 137–146.

18. Rogovskii I. L. Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. Machinery and Energetics. 2021. Vol. 12, Issue 2. P. 123–131. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123>

19. Rogovskii, I.L. Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. Machinery and Energetics, 2021, 12(3), pp. 157–166.

20. Rogovskii, I.L. Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management. Machinery and Energetics, 2021, 12(4), pp. 129–138.

21. Ivan Nazarenko, Iryna Bernyk, Oleg Dedov, Ivan Rogovskii, Mykola Ruchynskyi, Ivan Pereginets, Liudmyla Titova. Research of technical systems of processes of mixing materials. Dynamic processes in technological technical systems. Kharkiv: PC Technology Center. P. 57-76. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch4>. Scopus.

22. Study of reliability of technical systems reliability. Dynamic processes in technological technical systems. Kharkiv: PC Technology Center. P. 110-139. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch7>. Scopus.

23. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4(7(112)). P. 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>. Scopus.

24. Kresan T., Pylypaka S., Ruzilo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. Rolling of a single-cavity hyperboloid of rotation on a helicoid on which it bends. Engineering Review. 2021. Vol. 41. No. 3. P. 106–114. <https://doi.org/10.30765/er.1563>. Scopus

Q2. WoS.

25. I L Rogovskii, L L Titova, Yu O Gumenyuk, O V Nadtochiy Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 839. 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>

26. Igor Palamarchuk, Ivan Rogogvskii, Liudmyla Titova, Oleg Omelyanov. Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. Engineering for Rural Development. 2021. Vol. 20. P. 1761-1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.

27. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O. Research on a grain cultiseeder for subsoil-broadcast sowing. INMATEH. Agricultural Engineering. 2021. Bucharest. Vol. 63. No 1. P. 385-396. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-63-39>.