

Шифр «Обкатка»

**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТВЕРДІСТЬ ТА
ШОРСТКІСТЬ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБКОЧУВАННІ
ТОРОЇДАЛЬНИМ РОЛИКОМ ІЗ ГВИНТОВОЮ РОБОЧОЮ
ПОВЕРХНЕЮ**

2020р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗМІЦНЕННЯ ТА НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ.....	5
РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ПОВЕРХНІ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ. ТАРУВАЛЬНИЙ ГРАФІК МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ.....	10
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ ЗАГОТОВКИ РОЛИКОМ.....	15
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ.....	20
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

Актуальність теми

Велика кількість деталей машин працює в умовах зношування. Ці деталі, як правило, обкочують роликами або кульками. Обкочування деталей із середньовуглецевої сталі забезпечує підвищення зносостійкості у порівнянні із шліфуванням в 1,5 – 2,5 рази, а в порівнянні із поліруванням - в 1,3 – 1,6 разів (при однаковій шорсткості поверхні). Аналогічні результати по підвищенню зносостійкості при обробці майже всіма методами поверхневого пластичного деформування, крім деяких ударних, коли шорсткість поверхні збільшується (обробка дробом, чеканка).

Однак необхідно відмітити, що при одному і тому ж рівні зміцнення, яке залежить від величини накопиченої пластичної деформації, величина використаного ресурсу пластичності в металі поверхневого шару буде різною, так як величина використаного ресурсу пластичності залежить від умов, в яких протікає поверхнева пластична деформація. В даний час встановлено, що якщо величина використаного ресурсу пластичності перевищує значення $\Psi \geq 0,5 - 0,6$, то при одному і тому ж ступені зміцнення та однаковій шорсткості, довговічність деталі зменшується на 60% - 80%.

У даній роботі розглядається метод зміцнення металу поверхневим пластичним деформуванням обкочуванням роликом. При обкочуванні відбувається зміцнення поверхневого шару металу, вирівнювання шорсткості або згладжування поверхневих нерівностей і виступів, а також утворення залишкових напружень стиску. При цьому на поверхні утворюється шар металу, міцність якого відмінна від міцності основного металу. Глибина цього шару, або глибина наклепу, залежить від параметрів обкочування (режимів). Змінюючи їх, можна отримати поверхню з різними показниками шорсткості, твердості і наклепу, в залежності від вимог, що висуваються до готової деталі. На даний час багато зроблено досліджень для того, щоб оптимізувати керування процесом для отримання необхідного зміцнення поверхневого шару металу деталі та

відповідних значень інших параметрів поверхні, але практично не досліджувались питання по оцінці величини використаного ресурсу пластичності в металі поверхневого шару.

Метою роботи є підвищення якості поверхневого шару металу заготовки пластично зміцненого обкочуванням роликком на основі удосконалення технологічних параметрів.

Для досягнення вказаної мети в роботі були поставлені і вирішені наступні **завдання:**

1. На основі аналізу сучасного стану і перспектив розвитку процесів обкочування деталей сформулювати їх недоліки та визначити основні задачі дослідження, які забезпечать високі параметри якості поверхневого шару деталей;

2. Виконати чисельне моделювання процесу деформування поверхневого шару матеріалу деталей при обкочуванні з використанням МСЕ;

3. Експериментально визначити показники якості поверхневого шару заготовки при обкочуванні та оцінити вплив на них технологічних параметрів процесу обкочування;

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗМІЦНЕННЯ ТА НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ

Однією із важливих задач при виготовленні деталей є забезпечення високої якості робочих поверхонь і покращення фізико-механічних характеристик поверхневого шару їх матеріалу. Одним із найбільш економічних та ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є зміцнення деталей поверхневим пластичним деформуванням (ППД), яке дозволяє повніше реалізувати потенційні властивості конструкційних матеріалів в реальних деталях складної будови та в деталях з концентраторами напружень.

Поверхнєве пластичне деформування – розповсюджений і ефективний спосіб підвищення несучої здатності металевих деталей машин, який переважно застосовують, як кінцеву операцію.

Найвагоміший ефект зміцнення від застосування ППД досягається для циклічно навантажених деталей з конструктивними або експлуатаційними концентраторами напружень. ППД ефективно також і по відношенню до деталей, що піддаються при експлуатації зношуванню.

Поверхнєве деформування поверхневих шарів здійснюють різноманітними способами, які згідно з [2] можна поділити на дві групи. До першої відносять такі, що передбачають створення зусилля деформування від інструмента шляхом безперервного контакту з деталлю (статичні), до другої – ті, при яких здійснюється ударна дія по деталі робочих тіл або інструмента (динамічні). Не дивлячись на різноманіття способів ППД, їх поєднує спільність основних процесів та впливів на стан металу та оброблюваної поверхні. При різних умовах оброблювання проявляються або неперервні, або дискретні особливості матеріалів.

В результаті зміцнення поверхневих шарів при поверхневому деформуванні можна забезпечити покращення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в

поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зсувів кристалічної ґратки. Експлуатаційні властивості деталей визначаються цими спільними факторами. Крім того відбувається покращення якості поверхні, що проявляється в зменшенні висоти нерівностей, більш похилої їх конфігурації, що важливо, наприклад, для поверхонь пар тертя.

В залежності від форми, розмірів, матеріалу деталі, вимог, що висуваються до геометричних параметрів та якості поверхні, виробничих та інших умов можуть застосовуватися різноманітні способи зміцнювального оброблювання ППД. Вони відрізняються за схемами силової дії на оброблювану деталь, продуктивністю, економічністю та іншими показниками (рис. 1.1). Як спільні класифікаційні ознаки можна використовувати швидкість деформування; схему контактування деформуючих тіл з поверхнею деталі; форму робочої ділянки деформуючого тіла; зв'язок деформуючих тіл з джерелом руху" спосіб передачі енергії до інструмента.

Найбільш розповсюдженим способом зміцнення пластичним деформуванням поверхні є обкатування деталей роликками. У той же час широко впроваджується обкатування пружними кульками, зміцнення дробеструйним і відцентрово-кульковим наклепом, зміцнення карбуванням. В останні роки усе ширше застосовується поверхнева термомеханічна обробка.

Деформація металу при обкатуванні починається з удавлення ролика в поверхню деталі. Вихідний контакт ролика з деталлю в залежності від конфігурації контактуючих тіл може бути крапковим або лінійним. Під дією прикладеної сили ролик вдавлюється в деталь, утворюючи на її поверхні відбиток, форма якого відіграє важливу роль у наступному процесі пластичної деформації при обкатуванні.

Відбиток еліптичної форми утвориться при обкатуванні деталі довільної форми роликком кругового профілю, якщо радіус його кривизни не дорівнює радіусові кривизни деталі, узятому з протилежним знаком. Ролики з робочим профілем, обкресленим в осьовому перерізі по окружності, тобто виготовлені у формі тора, бочки або сфери (зокрема, кульки), мають переваги, що

забезпечують їм широке застосування у виробничій практиці. При їхньому використанні постійна форма відбитка зберігається незалежно від точності установки ролика і твердості системи

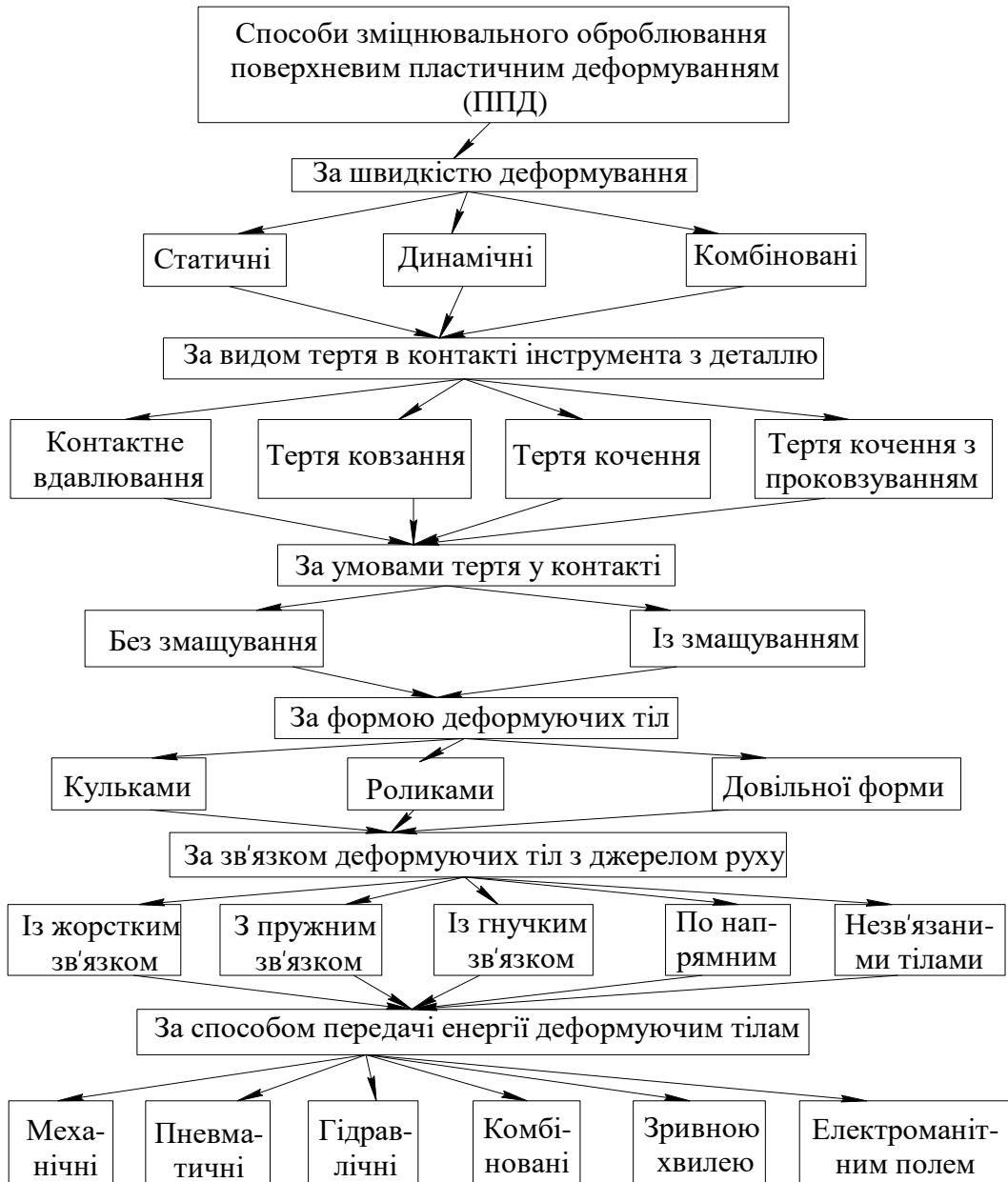


Рисунок 1.1 - Класифікація способів зміцнювального оброблювання ППД

верстат-інструмент-деталь. Ролики кругового профілю широко використовуються при чистовому обкатуванні і служать основним

інструментом для зміцнення. Прямокутний відбиток створюється при лінійному вихідному контакті ролика з деталлю.

Застосування роликів, що мають лінійний контакт із деталлю, для обкатування з подовжньою подачею вимагає вживання заходів, що знімають концентрацію контактних напруга на краю відбитка, протилежному напрямкові подачі; у цьому місці припиняється контакт деталі з роликом і остаточно формується обкачана поверхня.

Деформація поверхні залежить від сили обкатування, профільного радіуса ролика, подачі, співвідношення діаметрів деталі і ролика.

Найбільші деформації поверхні, що приводять до неприпустимого зменшення діаметра деталі (утворенню западини), спостерігаються на початку обкатуваної поверхні. Глибина западини залежить від сили, радіуса профілю ролика і подачі; вона невелика при використанні роликів з великим профільним радіусом, характерним для чистового обкатування, і може досягати десятих часток міліметра при зміцненні.

Ширина западини росте в міру збільшення сили обкатування і зменшення твердості матеріалу деталі. Цю величину важливо знати при проектуванні технологічного процесу зміцнюючого обкатування, щоб вивести западину за межі, де необхідні точні розміри зміцнюючої ділянки вала. Узагальнення дослідних даних дозволило

Розглядаючи шорсткість поверхні як відхилення від номінальної форми деталі, можна говорити про обкатування роликками як про ефективний спосіб уточнення мікропрофілю деталей машин.

При зміцнюючому обкатуванні підвищується твердість поверхні, з'являються стискаючі залишкові напруги, збільшується зміцнююча міцність деталей. Зіставлення епюр напруг з відповідними графіками розподілу твердості в поверхневому шарі обкатаних валів показує, що найбільш деформований шар металу в поверхні не є найбільш напруженим. Поблизу поверхні відзначається спад напружень. З ростом сили обкатування збільшуються товщина шаруючи зі стискаючими залишковими напругами і глибина розташування їхнього

максимуму. Напруги ж у поверхневому шарі спочатку збільшуються, потім починають зменшуватися. Збільшення радіуса профілю ролика при збереженні інших елементів режиму обкатування викликає деяке зменшення товщини шару зі стискаючими напругами і глибини розташування їхнього максимуму, але разом з тим приводить до зростання напруг у зоні максимуму й у поверхні.

Поверхневу пластичну деформацію використовують для обробки різних поверхонь: циліндричних, плоских поверхонь колінчастих і шліцьових валів, зубчастих коліс, різьб та інших. Даний вид обробки забезпечує збільшення міцності і мікротвердості оброблених поверхонь, вони більш зносостійкі, ніж, наприклад, поверхні отримані за допомогою лез або абразивної обробки.

При розгляді процесу пластичної деформації поверхневого шару, зокрема при деформуванні роликом плоскій поверхні виникає цілий ряд завдань. Однією з них є визначення використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі. Розглянемо пластичний контакт при коченні з ковзанням жорсткого ролика вздовж плоскої поверхні ідеально-пластичного півпростору. При цьому вважаємо, що пластичне стан в зоні контакту є стаціонарним. Початкове рішення для ковзання циліндра з пластичного напівпростору розглянуто Б. А. Друяновим і Н.М. Михиным, кочення, гладкого циліндра досліджувався Е. А. Маршалом, В. Ф. Коллінз розглядав ковзання шорсткого циліндра. В. М. Сегалом запропоновано рішення задачі при довільному терті між роликом і матеріалом. При цьому досліджувалися зусилля і момент, які діють на циліндр і розподіл контактних напружень по поверхні матеріалу, який обробляється.

Отже вплив якості поверхневого шару на довговічність деталей необхідно розглядати на основі комплексного підходу, що враховує вплив всіх факторів. Такий підхід можливий тільки шляхом аналізу пластичної течії металу в осередковій деформації, з одного боку, і врахуванням механічних властивостей металу, з іншого.

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА ПОВЕРХНІ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ. ТАРУВАЛЬНИЙ ГРАФІК МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ

Останнім часом для оцінки ймовірності руйнування металів використовують деформаційні критерії, в яких як кількісна характеристика пластичності прийнята гранична деформація

$$e_p = \int_0^{t_p} \dot{\epsilon}_u d\tau, \quad (2.1)$$

де $\dot{\epsilon}_u$ – інтенсивність швидкостей деформацій;

t_p – час деформації до руйнування.

При холодній пластичній деформації значення e_p залежать, в основному, від напруженого стану і його зміни в процесі пластичної деформації. Для кількісної оцінки впливу силового поля на e_p при об'ємному напруженому стані необхідно використовувати не менше трьох інваріантних характеристик напруженого стану в якості координат простору, в якому дане поле досліджується. При практичному використанні такого підходу вид траєкторії навантаження залежить не тільки від умов формозмінення, а і від механічних характеристик металу, який деформується. Тому нами для дослідження пластичності металів при об'ємному напруженому стані пропонується простір з координатами: показник напруженого стану

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{3\sigma}{\sigma_u}, \quad (2.2)$$

параметр Надаї-Лоде

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (2.3)$$

і ступінь деформації

$$e_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u d\tau, \quad (2.4)$$

де $\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$ – середнє напруження;

t – час деформування.

Основна перевага вибору таких координат полягає в тому, що у вибраному трьохмірному просторі вид траєкторії навантаження залежить тільки від умов формозмінення і не залежить від фізико-механічних характеристик металу, який деформується [80]. Залежність пластичності даного металу від схеми напруженого стану визначається поверхнею граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$.

Від координат η , μ_σ , e_u легко перейти до координат, які визначаються інваріантними характеристиками напруженого стану. Для цього по даному значенню ступеня деформації e_u і кривій течії $\sigma_u(e_u)$ визначається інтенсивність напружень σ_u і по формулам [80]

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_u}{3} \left(\eta - \frac{\mu_\sigma - 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}} \right), \quad \sigma_2 = \frac{\sigma_u}{3} \left(\eta + \frac{2\mu_\sigma}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}} \right), \quad \sigma_3 = \frac{\sigma_u}{3} \left(\eta - \frac{3 + \mu_\sigma}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}} \right) \quad (2.5)$$

легко перейти до простору головних напружень або інших інваріантних характеристик напруженого стану.

Для визначення граничних деформацій при інших значеннях показників η і μ_σ необхідно проводити складні і трудомісткі експериментальні дослідження з використанням камери високого тиску або іншого, не менш складного обладнання. Тому нами розроблено просту методику побудови поверхонь граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$. Для цього використано результати

експериментальних досліджень пластичності сталей X17H13M2T, алюмінієвого сплаву АД1, латуні Л58, отриманих при навантаженнях по спеціальних програмах в камері високого тиску. На основі аналізу цих результатів для апроксимації поверхонь граничних деформацій запропонована апроксимація [73, 79] подібна апроксимації В. А. Огороднікова для діаграм пластичності

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = e_p(0,0) \exp(\lambda_2 \mu_\sigma - \lambda_1 \eta), \quad (2.6)$$

$$\text{де } \lambda_1 = \ln \frac{e_p(-1,0)}{e_p(0,0)}, \quad \lambda_2 = \ln \frac{e_p(0,1)}{e_p(0,0)},$$

$e_p(0,0)$, $e_p(-1,0)$, $e_p(0,1)$ – граничні деформації при $\eta=0, \mu_\sigma=0$; $\eta=-1, \mu_\sigma=0$; $\eta=0, \mu_\sigma=1$, відповідно.

Значення $e_p(0,0)=0,78$ і $e_p(0,0)=1,2$ визначали в дослідах на кручення. Для визначення величин λ_1 і λ_2 виконували досліди по вільній осадці суцільних циліндричних зразків з різними умовами тертя на їх торцевих поверхнях. В цих дослідах навантаження близьке до простого, тому умова руйнування має вид

$$\Psi = \int_0^{e_p} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} = 1. \quad (2.7)$$

При вільній осадці зразків з різними умовами тертя на контактні має місце плоский напружений стан, при якому $\sigma_2 = 0$ і, в цьому випадку $\eta = -\mu_\sigma$. Тому формула (3.13) приводиться до виду

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = e_p(0,0) \exp(-\lambda \eta), \quad (2.8)$$

$$\text{де } \lambda = \lambda_1 + \lambda_2. \quad (2.9)$$

З урахуванням (2.9) умова руйнування (2.8) матиме вид

$$\int_0^{e_p^*} \exp(\lambda\eta) de_u = e_p(0,0), \quad (2.10)$$

де e_p^* – гранична деформація для заданого шляху деформування.

Рівняння (2.11) було записано для чотирьох шляхів деформування зразків кожного із матеріалів. Отримані рівняння розв'язували методом послідовних наближень і для кожного шляху деформування визначали λ . Середнє значення λ для сталі X17H13M2T отримали рівним $\lambda=1,15$, а для АД1 – $\lambda=0,92$.

Для отримання інших точок поверхні $e_p(\eta, \mu_\sigma)$, проводили досліди по осадці циліндричних зразків в оболонках із сталі 10 різної товщини. Нами використовувались зразки: $d_0=12$ мм, $h_0=18$ мм, товщина оболонки 3 мм; $d_0=12$ мм, $h_0=22$ мм, товщина оболонки 5 мм; $d_0=12$ мм, $h_0=26$ мм, товщина оболонки 7 мм.

Зразки деформували за декілька етапів до появи першої макротріщини на їх поверхні. Для визначення історії навантаження значення η розраховували по формулі (3.20) на проміжних етапах, яких реалізовували не менше трьох. В кінці кожного етапу заміряли елементи ділильної сітки на поверхнях оболонки і зразка. Для вимірювання деформацій на поверхні зразка оболонки в кінці кожного етапу розрізали. Параметр Надаї-Лоде μ_σ в кінці кожного етапу визначали по формулі.

В результаті отримали наступні формули для апроксимації поверхонь граничних деформацій для сталі X17H13M2T

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 0,41 \exp(0,52\mu_\sigma - 0,72\eta) \quad (2.11)$$

і для сплаву алюмінію АД1

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,20 \exp(0,42\mu_\sigma - 0,50\eta) \quad (2.12)$$

Поверхні граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ для сталі і сплаву алюмінію АД1, отримані по апроксимаціях приведені на рис. 2.1, 2.2

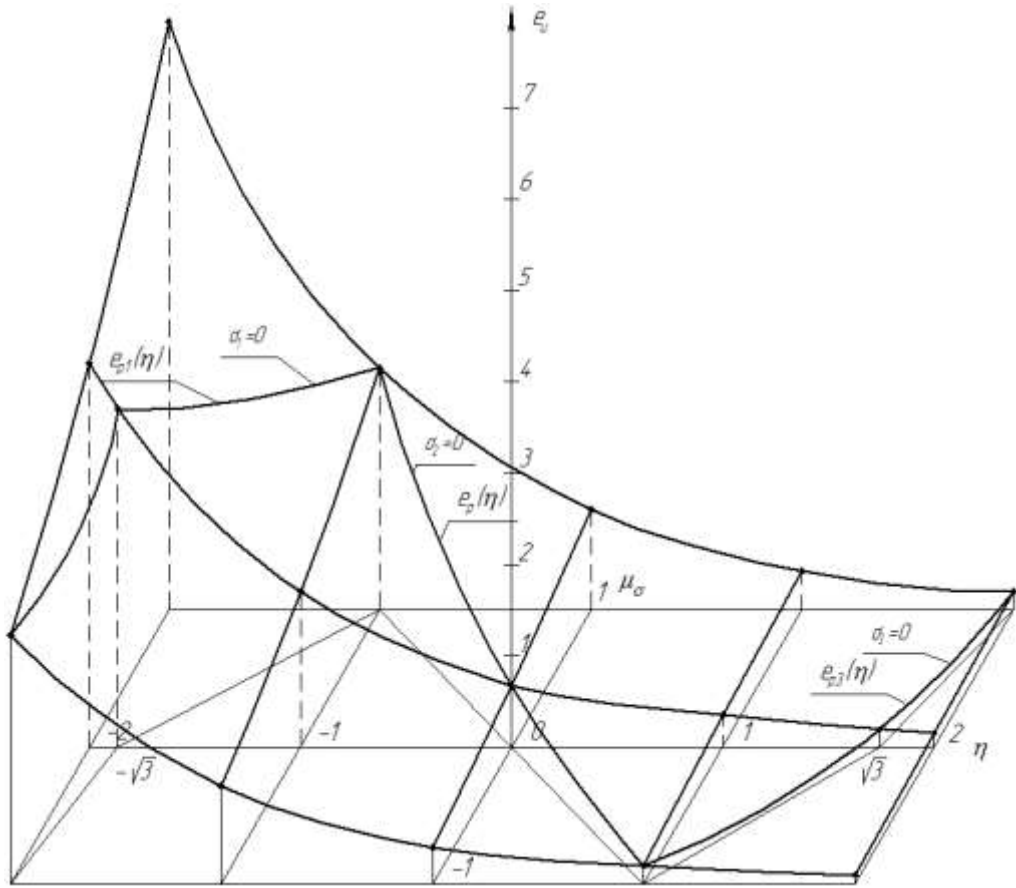


Рисунок 2.1 – Поверхня граничних деформації для сталі X17H13M2T

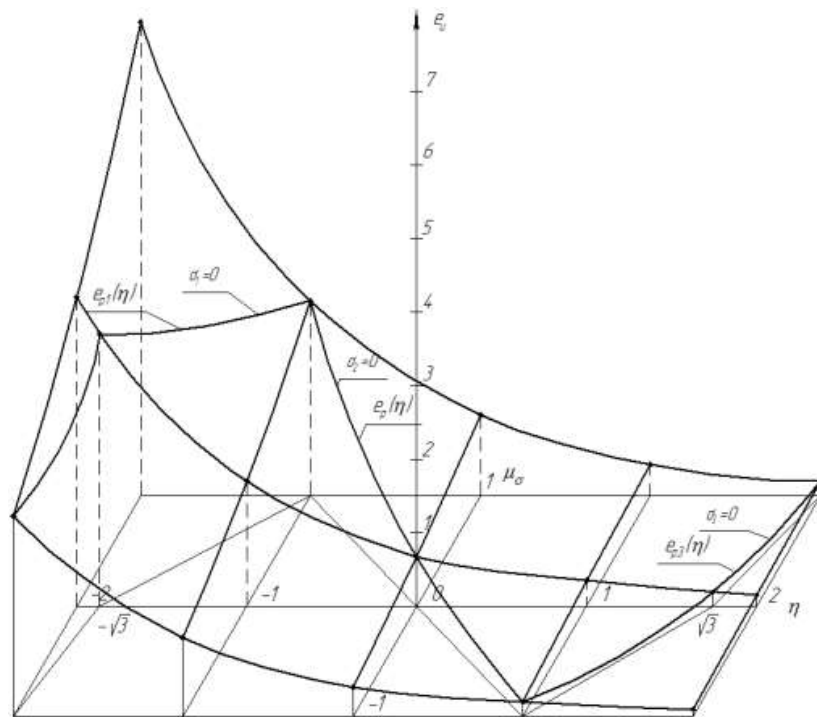


Рисунок 2.2 – Поверхня граничних деформації для сплаву алюмінію АД1

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ ЗАГОТОВКИ РОЛИКОМ

Для розрахунку параметрів напружено-деформованого стану поверхневого шару заготовки в процесі обкочування роликом методом скінчених елементів було розглянуто розробки, що були у вільному використанні, проте вони не давала необхідної точності.

Тому ґрунтуючись на відомих результатах моделювання процесів ОМТ методом скінчених елементів нами було вирішено для розв'язку задачі пластичного деформування поверхневого шару заготовки використовувати програму LS-DYNA. Дана програма дозволяє моделювати напружено-деформований стан під час пластичного формозмінення матеріалів, взаємодію контактних поверхонь інструмента та заготовки з врахуванням тертя.

Таким чином, можна зробити висновок, що при аналізі процесу обкочування роликом розрахунок параметрів НДС методом скінчених елементів дає не тільки якісну, але й кількісну оцінку розподілу характеристик напружено-деформованого стану.

Моделювання проходить у кілька етапів:

- геометрична модель будується
- задаються тип матеріалів і їх властивості;
- присвоюються атрибути (матеріал, тип кінцевого елемента) елементам геометричній моделі;
- розбивається модель на кінцеві елементи (рис. 3.1);
- задаються граничні умови (закріплення моделі і діючі сили);
- вирішується завдання;
- проглядаються результати.

В даній моделі розглядається обкатка сталевого валу (Сталь 45), роликом діаметром 50мм, з профільним радіусом – 5 мм. Аналіз отриманих результатів показує, що мають місце три зони деформування [3]: область випередження область налипання або область безпосередньо контакту ролика і деталі; область

відставання. Формування всіх зон добре видно на рис 43.2.

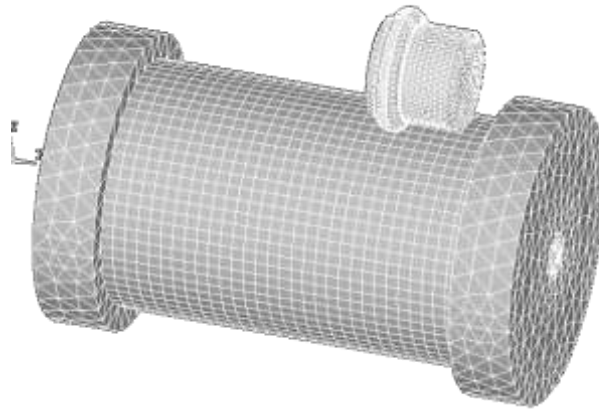
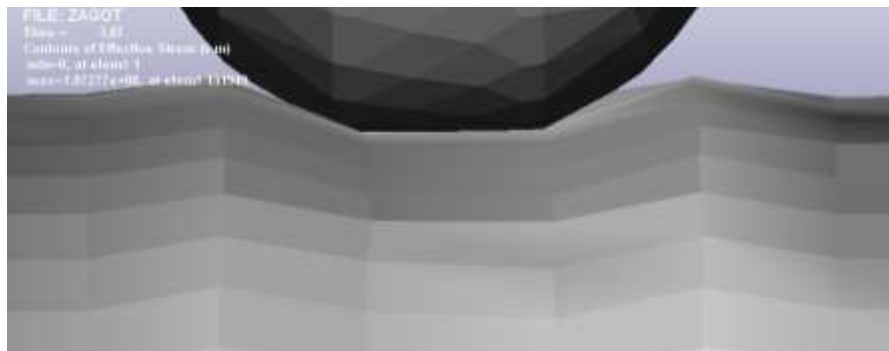


Рисунок 3.1 – Геометрична модель розбиття на кінцеві елементи



б)

Рисунок 3.2 – Утворення платичної хвилі перед роликком та після нього на поверхні деталі

У зоні пластичної хвилі відбуваються значні деформації при несприятливій схемі напруженого стану (рис.4.9). Показник напруженого стану η в цій зоні змінюється від $\eta=0,71$ до $\eta=1,6$, а параметра Надаї –Лоде μ_σ змінюється від $\mu_\sigma = -0,3$ до $\mu_\sigma = -0,4$.

В зоні контакту деталі та інструменту відбуваються основні деформації (рис. 4.10), однак збільшення використаного ресурсу пластичності незначно. У цій області показники $\eta=-0,75\dots-0,7$, $\mu_\sigma=0,2\dots 0,3$, тобто має місце схема всебічного стиснення. При переході частки з першої в другу зону внаслідок

інтенсивних деформацій в умовах гідростатичного стиску можливо заліковування деяких дефектів.

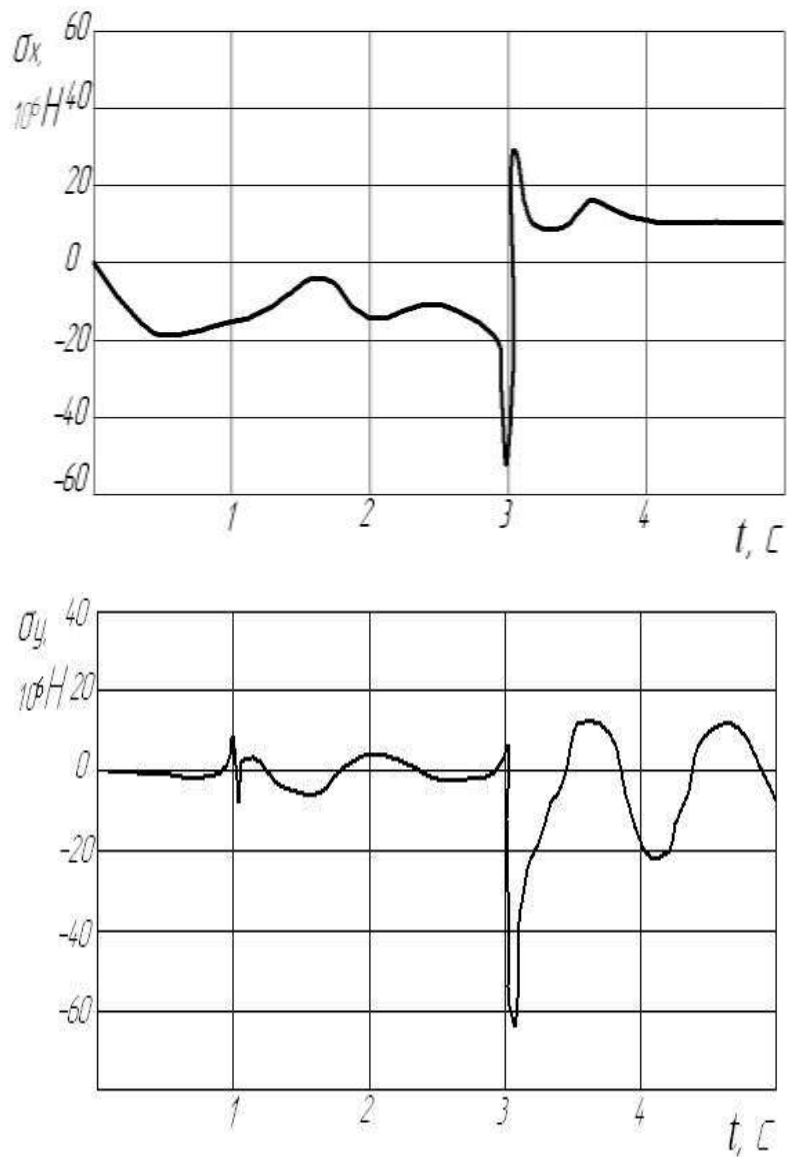
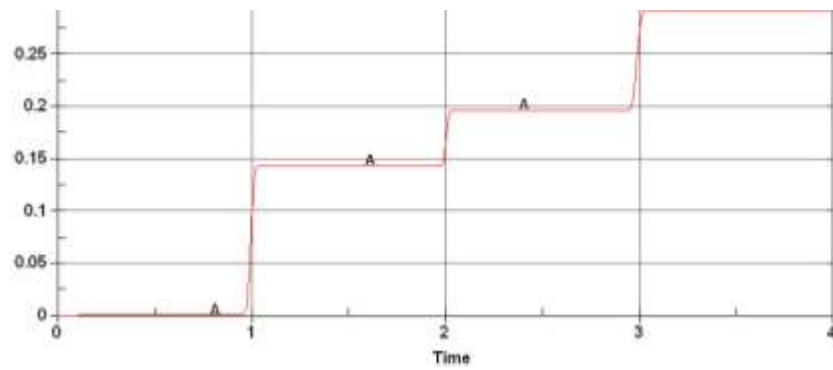
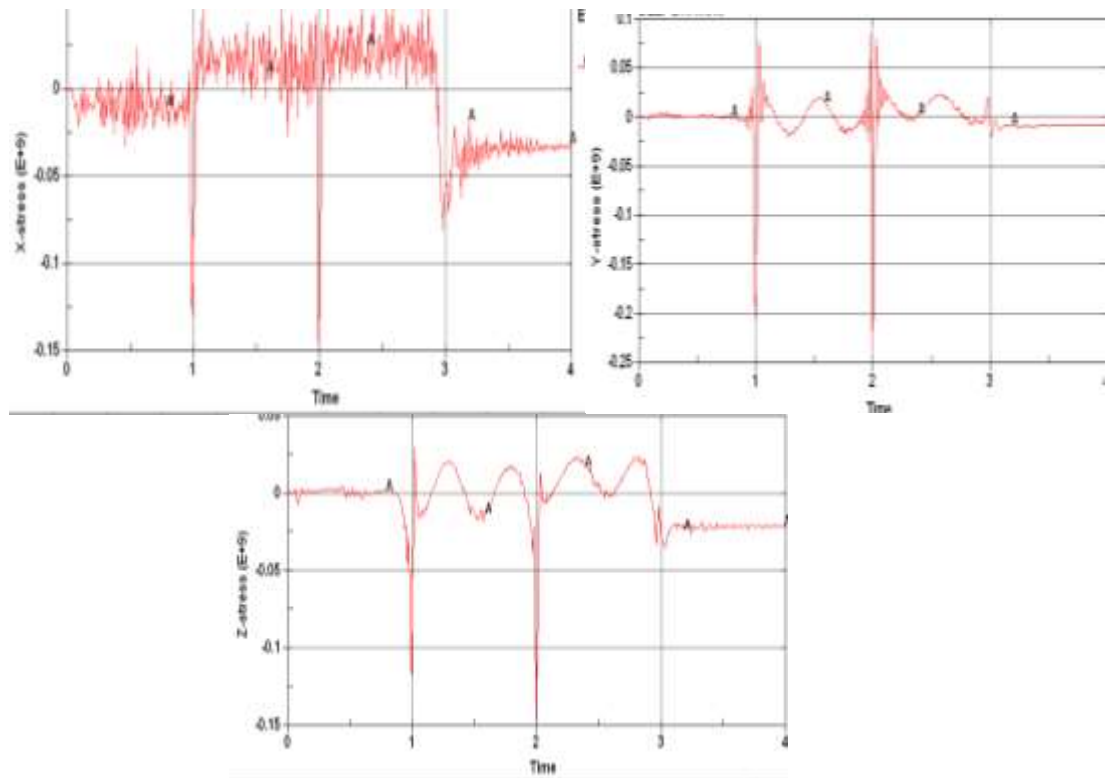


Рисунок 3.3- Нормальні напруження

Таким чином, незворотна пошкодженість металу поверхневого шару деталі при обкачуванні відбувається в основному, в зоні пластичної хвилі, а саме в її вершині. Ця пошкодженість частково може лікуватися, а решта буде визначати експлуатаційні характеристики поверхневого шару деталі.



а)



б)

Рисунок 3.4 - Пластична деформація (а) та головні напруження (б) отримані МСЕ

. При переході частинки з першої в другу зону внаслідок інтенсивних деформацій в умовах гідростатичного стиснення можливо заліковування деяких дефектів. У зоні АВ відносно низький рівень приросту деформацій і відповідно зростання пошкодження незначний. (рисунок 4.13)

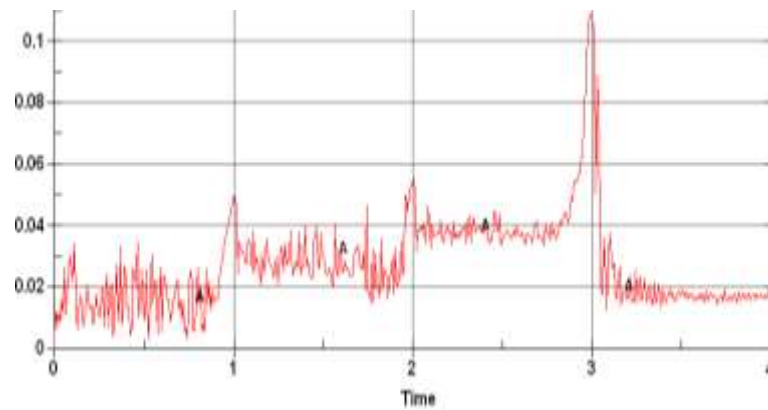


Рисунок 3.5 – Інтенсивність напружень

Таким чином, незворотня пошкодженість металу поверхневого шару деталі при обкочуванні відбувається здебільшого в зоні пластичної хвилі, а саме в її вершині. Ця пошкоджуваність частково може заліковуватися, а частина що залишиться буде визначати експлуатаційні характеристики поверхневого шару деталі.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ

Відомий ролик для обкатування металевих деталей, робочий профіль якого виконаний у вигляді циліндричної спіралі. Крок спіралі більше ширини деформувального виступу витка спіралі, а діаметр ролика не кратний діаметру оброблюваної деталі. В основу моделі покладена задача створення ролика, в якому за рахунок того, що робочий профіль виконаний у вигляді циліндричної спіралі з змінним кроком від $2b$ до $0.5b$, де b – ширина смуги зміцнення; що дозволяє при зміщенні кожної із смуг зміцнення при одному оберті оброблюваної деталі забезпечувати необхідне перекриття зазначених смуг, без виникнення перенаклепу зміцнюваних поверхонь і за рахунок чого отримується рівномірний розподіл пластичних деформацій та залишкових напружень по довжині поверхні, що обкатується.

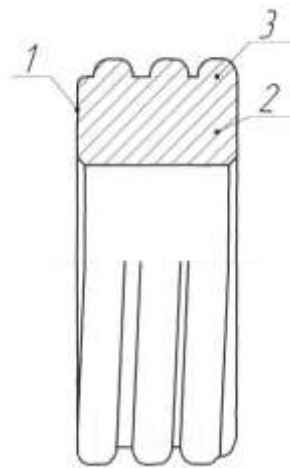


Рисунок 4.1 – Ролик для обкочування металевих деталей

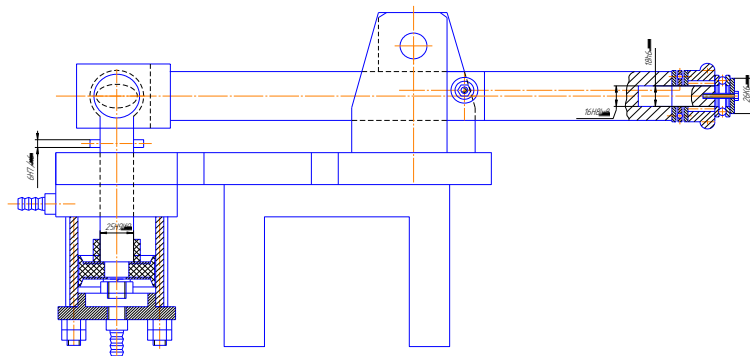
На рис. 4.1 показаний вид ролику для обкочування металевих деталей. Циліндрична спіраль 1 і опорний циліндр виконані як одне ціле.

Ролик працює наступним чином. Ролик монтується з можливістю вільного обертання в підшипниках тримача. Силовий механізм закріплюється в різцетримачі токарного верстату. Після включення обертання шпинделя

верстату ролик підводиться до деталі, силовим механізмом пристосування для обкочування створюється необхідне зусилля і ролик під дією подачі верстату переміщується вздовж оброблюваної поверхні, обертаючись разом із деталлю. Процес обробки проходить за один або два проходи, за один установ і за одну операцію, що робить його високопродуктивним і високоякісним.

Виконано дослідження впливу режимів обробки на твердість отримуваної поверхні.

При використанні деталей оброблених із ППД велике значення має величина твердості, яка була досягнута під час обробки деталі, та товщина шару металу, який зміцнено. Для визначення цих величин експериментальним шляхом використовувалося пристосування показане на рисунку 4.2. Воно досить просте як за своєю конструкцією так і у використанні. Обкатник кріпиться на токарному верстаті у різцетримачі, ролик притискається до заготовки за допомогою пневматичного циліндра. Для того щоб контролювати зусилля із



деформуванню, але ефект від цього не значний.

При обкочуванні заготовки із Сталі 20 твердість зросла на 36 МПа, що становить 16% від початкової твердості. Це значно кращий результат. А вже при обкочуванні Сталі 45 твердість зросла на 25%, тобто твердість деталі за допомогою обкатки роликом можливо підвищити на 71МПа .

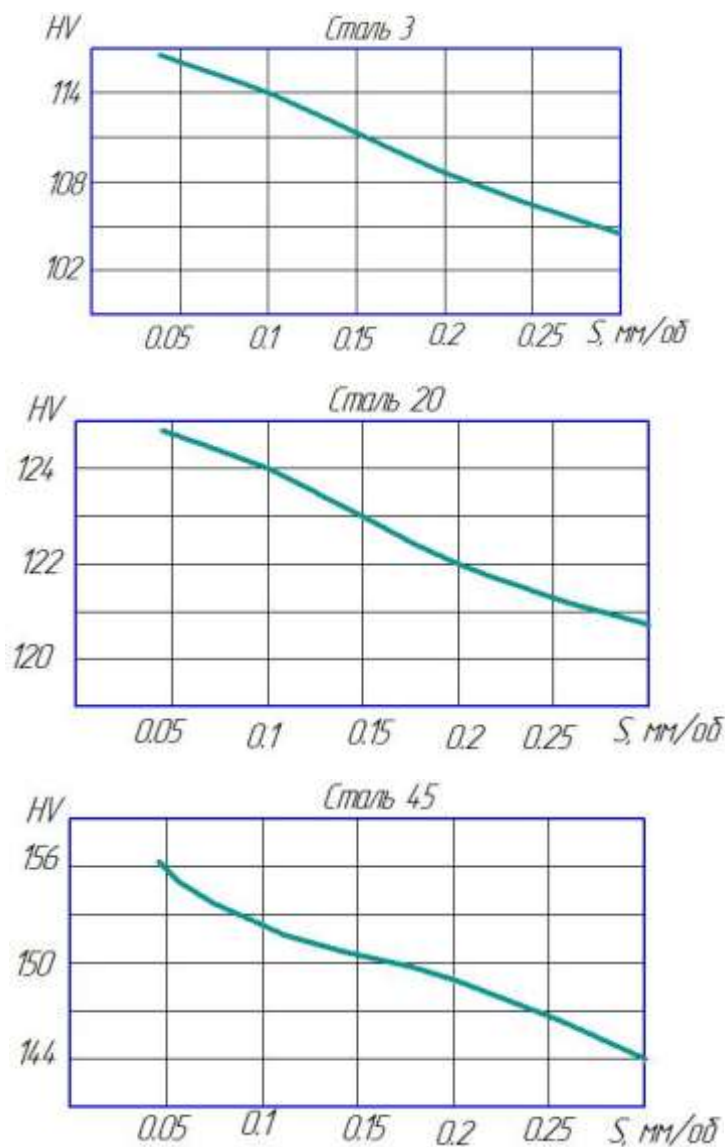


Рисунок 4.3– Залежність отримуваної твердості поверхні від подачі при застосуванні ППД

При цьому закономірність залежності від подачі зберігається, тобто із збільшенням подачі твердість поверхневого шару після ППД зменшується.

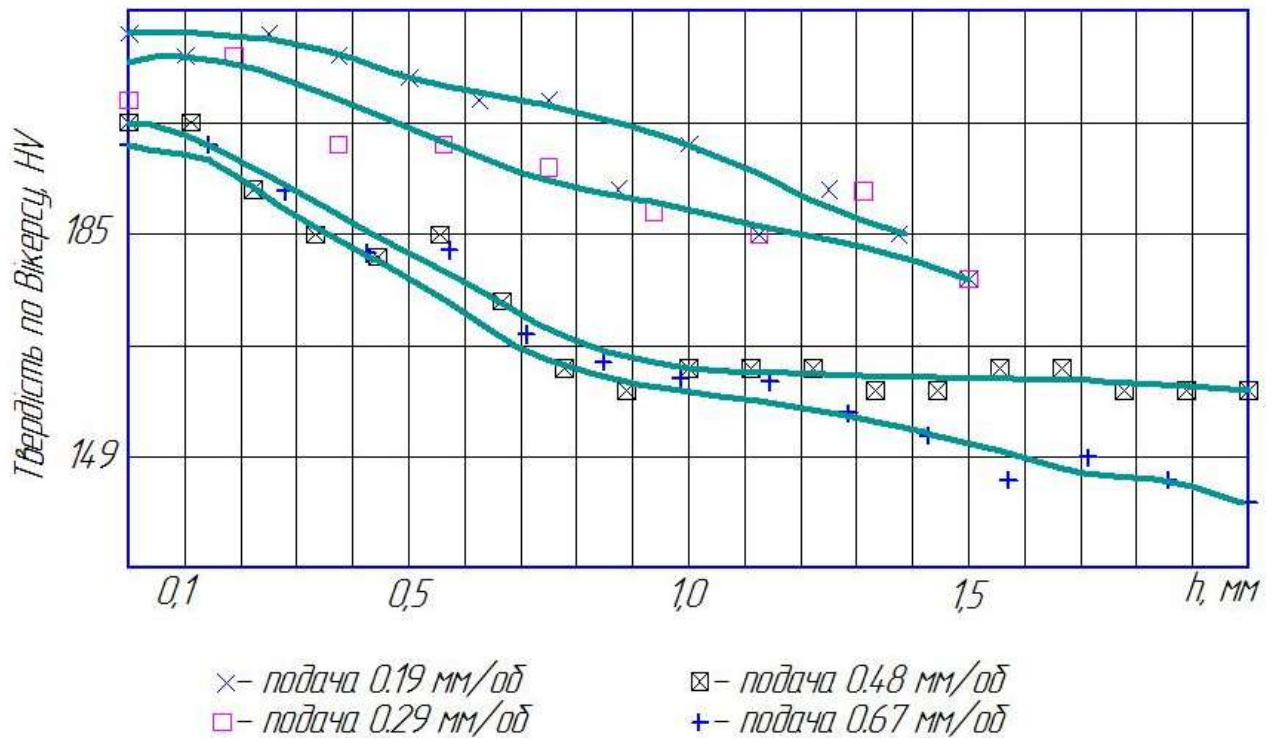


Рисунок 4.4– Залежність твердості від відстані від поверхні (Л 58)

Як видно із графіків зміцнення відбувається приблизно на товщину 1,5 мм, при цьому при збільшенні подачі твердість зменшується. Тобто потрібно підбирати оптимальні режими обробки для забезпечення необхідної якості поверхні та продуктивності обробки.

Із результатів проведених досліджень впливає що, на якість отримуваної заготовки, її характеристики довговічності і зносостійкості впливає цілий ряд параметрів. При збільшенні сили обкатки значно підвищується твердість обробленої поверхні. При збільшенні поздовжньої подачі зменшується твердість поверхні і дещо збільшується її шорсткість. При збільшенні кількості проходів збільшується твердість, висота мікронерівностей значно знижується після першого проходу, і залишається майже незмінною після декількох наступних, а потім знову зменшується. При збільшенні вихідної висоти мікронерівностей зменшується твердість поверхні, але значно знижується отримувана шорсткість. Тобто, на параметри отримуваної поверхні впливає цілий ряд параметрів, які потребують подальшого вивчення.

Дослідження шорсткості проводилися на лазерному сканері Nanosurf Easyscan 2 AFM, конструкція якого показана на рисунку 1.2. Лазерне сканування це технологія безперервних вимірювань, що дозволяє з високою швидкістю і точністю визначити геометричні параметри об'єктів сканування. За принципом дії лазерний 3D сканер схожий з електронним тахеометром. Лазерний сканер оснащений високошвидкісним безвідбивачевим, лазерним далекоміром і системою зміни напрямку променя лазера - спеціальним поворотним дзеркалом. Задавши область сканування (так званий сектор повороту дзеркала) і крок сканування в кожному напрямку можна отримати детальну зйомку об'єкта, що цікавить.

Система лазерного сканування складається з двох основних складових: лазерний 3D сканер і цифрова відеокамера. Перша моделює форму об'єкту сканування / об'єктів, а друга необхідна для точної передачі кольору об'єктів. За результатами лазерного сканування можна побудувати тривимірну модель об'єкту / об'єктів / місцевості.



Рисунок 4.4- Лазерний сканер Nanosurf Easyscan 2 AFM

Сканер вимірює похилу відстань, горизонтальний і вертикальний кути до точок на поверхні об'єктів сканування. Сканування здійснюються з дуже високою швидкістю - кілька тисяч вимірювань в секунду. У лічені хвилини

сканер здійснює вимірювання кількох мільйонів точок з подальшим формуванням тривимірного зображення у вигляді хмари точок. Результатом зйомки є масив дискретних точок, кожна з яких має 3 просторові координати $X Y Z$ і інформацію про колір.

Поточне положення сучасного лазерного сканера визначається за допомогою вбудованого GNSS приймача геодезичного класу. Для рухомих систем (мобільних і повітряних) лазерного сканування при виконанні зйомки в процесі руху використовуються GNSS інерціальна навігаційна система (ІНС). Використання ІНС дозволяє врахувати реальну динаміку рухомого сканера і однозначно визначити координати кожної точки об'єкта лазерного сканування в просторі.

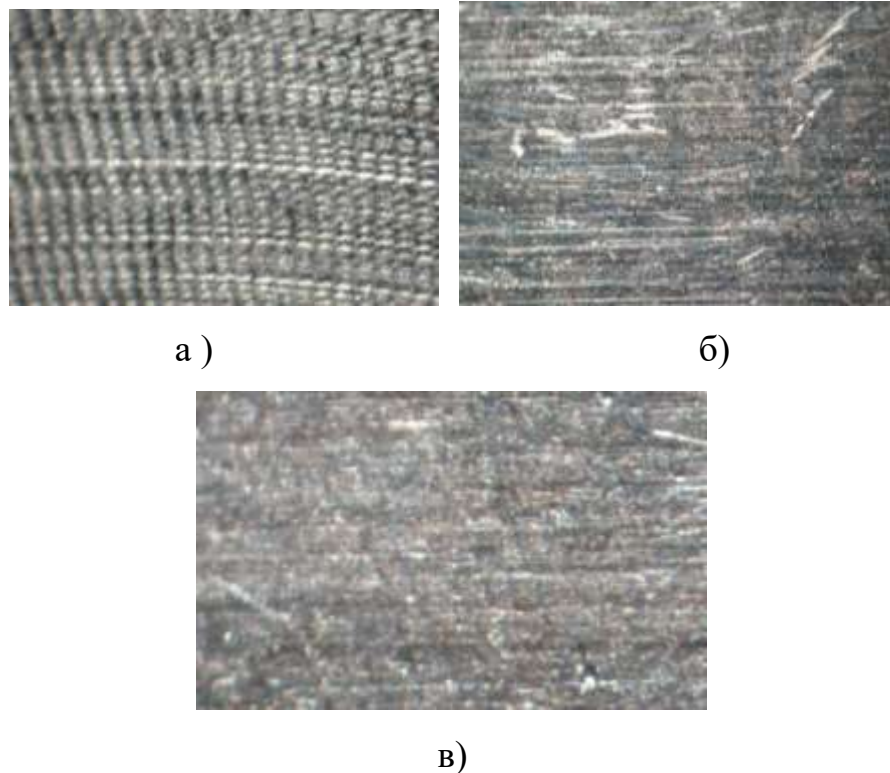


Рисунок 4.5 – Вид поверхні після точіння(а), обкочування циліндричним роликом(б), обкочування роликом із гвинтовою робочою поверхнею (в)

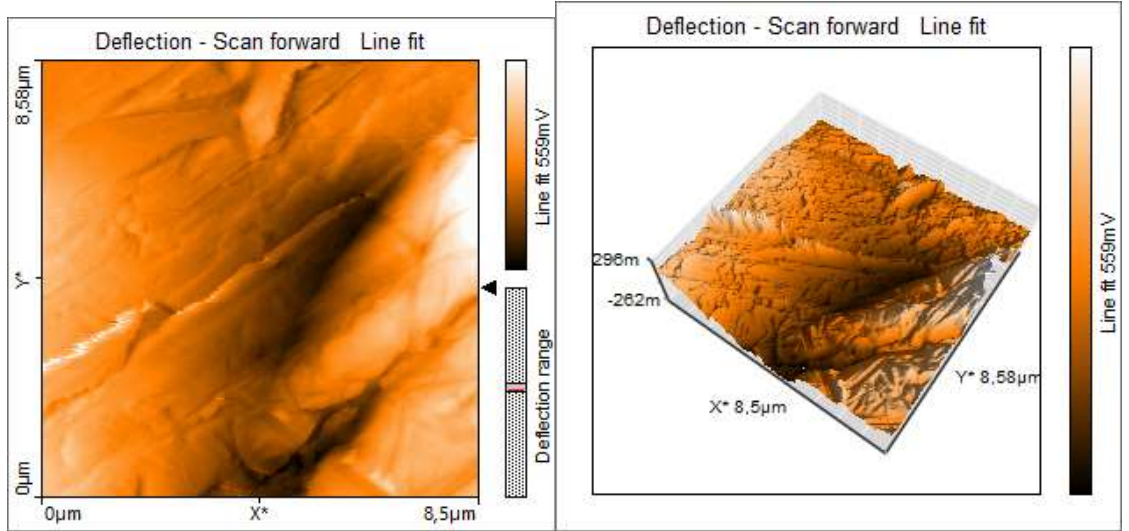


Рисунок 4.6 – Обкочування роликом роликом із гвинтовою робочою поверхнею в прямому і зворотньому напрямі

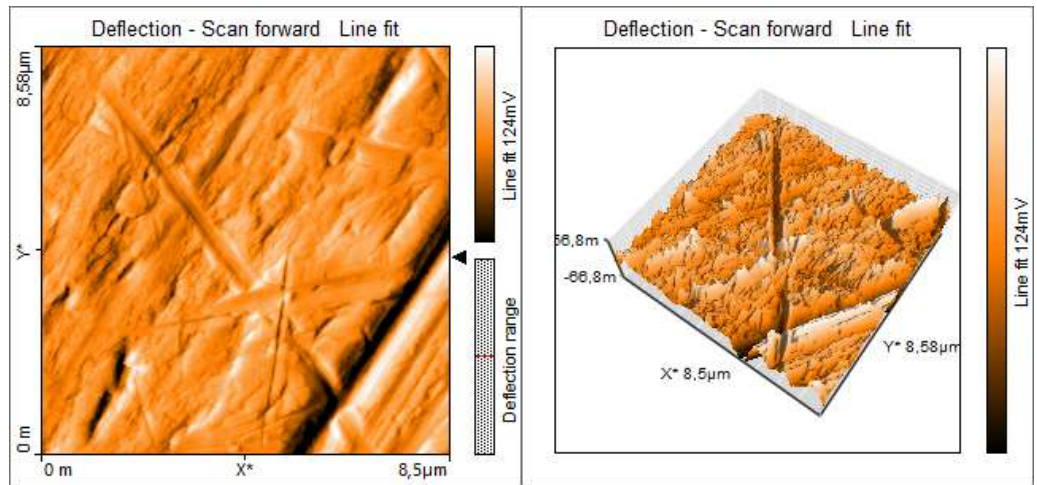


Рисунок 4.7 – Обкочування роликом роликом із гвинтовою робочою поверхнею в одному напрямі

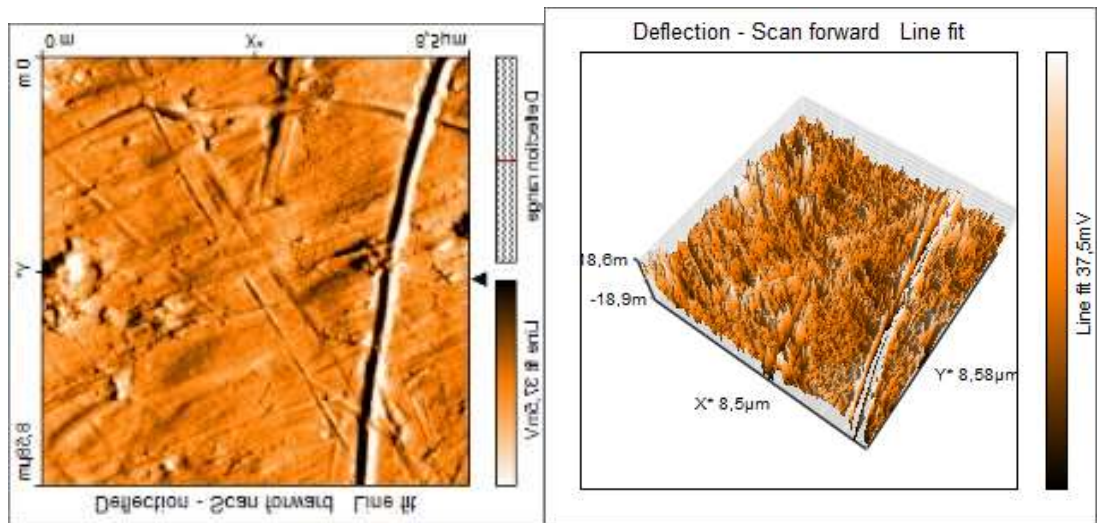


Рисунок 4.8 – Обкочування роликом циліндричним

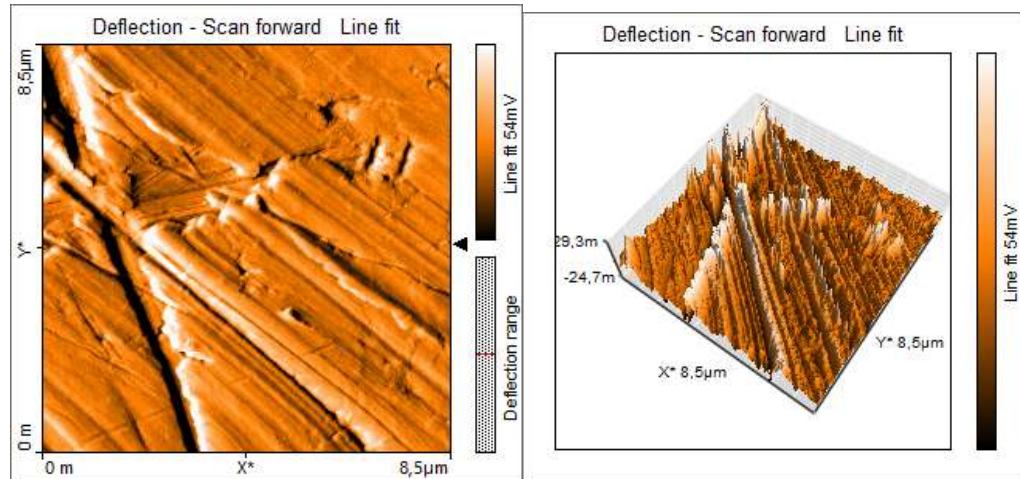


Рисунок 4.9 –Поверхня після тонкого точіння

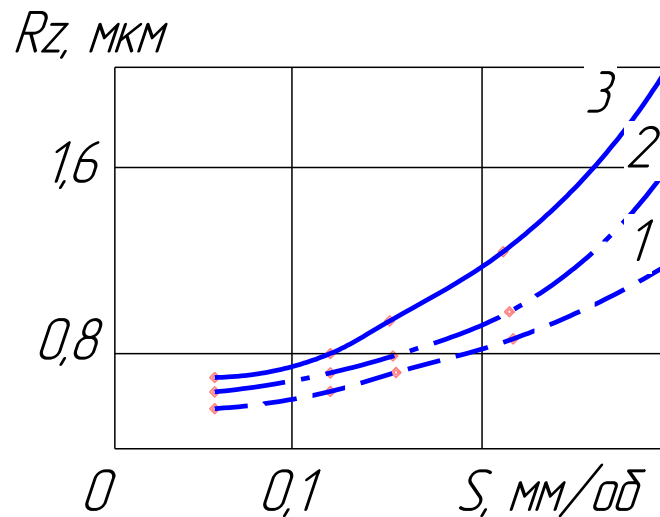


Рисунок 4.10 - Залежність параметру шорсткості Rz від подачі S при обкочуванні сталі ШХ15 ($\rho=1500$ Мпа; $\nu=80$ м/хв) для різних діаметрів ролика: 1 – $D=40$ мм; 2 – $D=20$ мм; 3 – $D=9,4$ мм.

Крім того виконано дослідження для різних матеріалів. В незагартованих сталей і титанових сплавах (рис. 1.7 – 1.8) внаслідок обкочування нерівності зменшуються в 8 – 20 раз, а високоміцних (загартованих) в 3 – 6 раз (рис. 1.19).

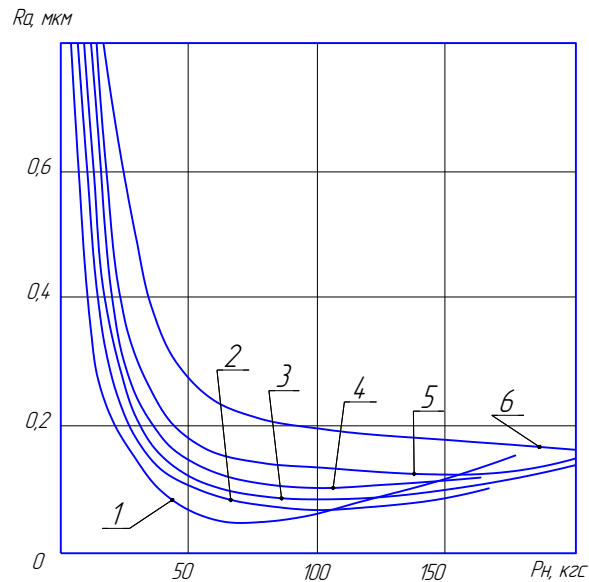


Рисунок 4.11- Залежність шорсткості від зусилля і марки сталі при обточуванні: 1 – сталь 20; 2 – сталь ШХ15; 3 – сталь 45; 4 – сталь 20ХН3А; 5 – сталь У8; 6 – сталь 18ХГТ.

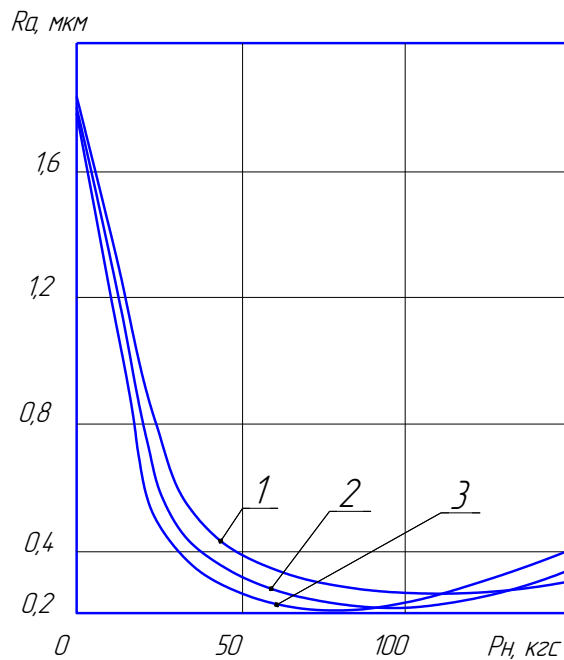


Рисунок 4.12- Залежність шорсткості від зусилля при обточуванні титанових сплавів: 1 – VT9; 2 – VT8; 3 – VT3-1.

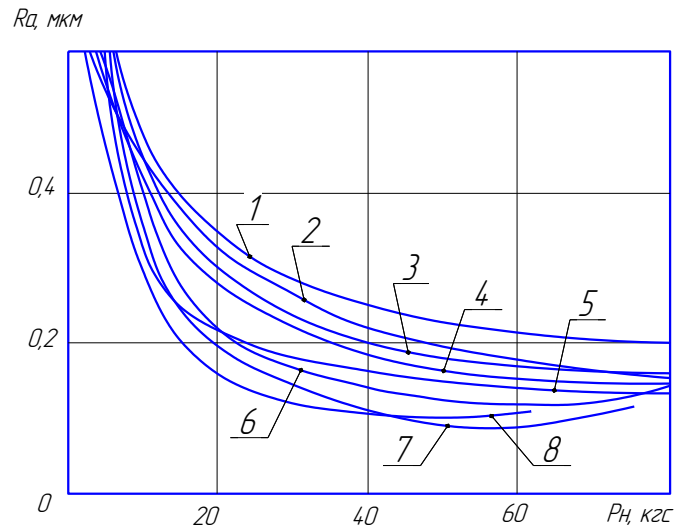


Рисунок 4.13 - Вплив зусилля обкочування на шорсткість поверхні при обкочуванні зразків з загартованої сталі: 1– сталь ЭИ347Ш (HRC 63); 2 – сталь ШХ15 (HRC 62); 3 – сталь 14Х2Н3МА (HRC 61-62); 4 – сталь ШХ15 (HRC 58); 5 – сталь 14Х2Н3МА (HRC 57-58); 6 – сталь 40Х (HRC 54); 7 – сталь 50Г2 (HRC 48); 8 – сталь 40Х (HRC 36-40).

Зниження шорсткості обкочуваної поверхні досягається шляхом збільшення діаметру оброблювального інструменту. Про це свідчить рис.4.14.

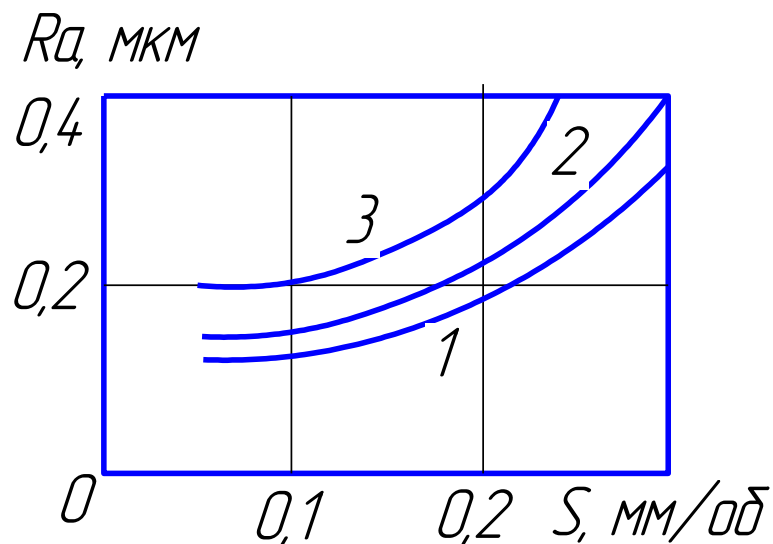


Рисунок 4.14 - Вплив подачі на шорсткість поверхні при обкочуванні зразків з загартованої сталі ШХ15 (HRC 58–59) роликami діаметром: 1 – 10 мм; 2 – 6 мм; 3-4 мм.

ВИСНОВКИ

Отже в роботі виконано чисельне моделювання процесу деформування поверхневого шару матеріалу деталей при обкочуванні роликом з використанням МСЕ, в результаті якого встановлено напружено-деформований стан матеріалу в залежності від параметрів обкочування.

Визначено напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика з довільною кривизною робочої поверхні в поверхню довільної кривизни.

Виконано дослідження процесу обкочування та визначено вплив технологічних факторів на твердість поверхневого шару та шорсткість отримуваної поверхні.

Із отриманих залежностей можна зробити висновок, що після обкочування шорсткість поверхні деталей із Сталі 3 та Сталі 20 знизилася на 1 клас, а на деталі, виготовленій із сталі 45, вдалося отримати майже дзеркальну поверхню. Крім того встановлено, що твердість зростає при повторному обкочуванні, але на величини значно менші ніж отримані після першого проходу. Наприклад, при обкочуванні сталі 45, що мала вихідну твердість 211 МПа, після одноразового обкочування було досягнуто 278 МПа, а після триразового обкочування ця величина складала 286 МПа.

Шорсткість значно знижується після першого проходу, після другого залишається майже незмінною, а вже після 3-4 проходів клас шорсткості знову зростає.

Отже потрібно комплексно підходити до вибору всіх технологічних параметрів при обкочуванні деталей, що дозволить отримати якісну поверхню після обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Сердюк О.В. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков, Р.І.Сивак // Наукові нотатки. – Луцьк, 2016. – Вип. 54. – С. 277–281(фахове видання)
2. Сердюк О.В. Напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика / О. В. Сердюк, І.О.Сивак, М.А.Карватко // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2013. – Вип.40. – С.251-256. – (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка») (фахове видання)
3. Сердюк О.В. Моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при обкатке цилиндрическим роликом / О. В. Сердюк // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – 2012. - №3(32). – С.15-18 (фахове видання)
4. Сивак Р.И. Влияние немонотонности пластической деформации на напряженное состояния / Р.И.Сивак, О.В.Сердюк, И.О.Сивак Обработка материалов давлением:сборник научных трудов. -2010.- №2(23). –С.3-7.
5. Карватко О.В. Экспериментально-расчетное определение использованного ресурса пластичности в порверхностном слое при обкатке цилиндрическими роликами / О.В.Карватко, О.В. Дерибо, В.Т. Ивацко // Обработка материалов давлением:сборник научных трудов. -2008.- 1(19). – С.211-214.
6. Пат. №76462 Україна, МПК В24В 39/00. Ролик для обкочування металевих деталей №u2012 05857; Опубл. 10.01.2013, Бюл. №1. – 4с. Огородников В.А., Грушко А.В. Волнообразование при формировании крутоизогнутых отводов методом одновременной протяжки с изгибом трубы // Вибрации в технике и технологиях. – 2000. – №1(13). – С. 55–57.

7. Грушко А. В. Особенности напряженно-деформированное состояния в шейке цилиндрического образца / Грушко А. В., Огородников В. А., Кирица И. Ю., Еленич Н. П. // *Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов.* – 2009. – №1(20) – С. 25-29.– ISBN 878-966-379-325-2.
8. Грушко А. В. Построение кривых течения материалов с учетом шейкообразования / А. В. Грушко, В. А. Огородников, В. И. Музычук // *Кузнечно-штамповочное производство «Обработка металлов давлением».* – 2007. - №8. – С. 16-20. – ISSN 0234-8241.
9. Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы). – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с. – ISBN 966-641-117-2.
10. Грушко О.В. Визначення силових характеристик процесів обробки тиском методом еквівалентної оцінки / О. В. Грушко, В.В. Кухарь, Т. І. Молодецька // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Збірник наукових праць.* Луганськ. – 2012. – №31. – С. 218-226.
11. Василевский О. В. Влияние величины подачи на кинематические и энергосиловые характеристики при протяжке заготовок в комбинированных бойках / О. В. Василевский, А. В. Грушко, В. В. Кухарь // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА. – 2012. – № 4 (34). – С. 17-20
12. В.А.Огородников, Л.И.Алиева, И.А. Деревенько Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии *Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія: "Машиностроение".* – 2012. – №64. – С. 201-208.
13. Сухоруков С. И. Влияние параметров разбиения конечно-элементной модели на точность результатов моделирования процесса поперечно-клиновой прокатки / С. И. Сухорков, И. О. Сивак, Е. И. Коцюбивская // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов.* – Краматорск: ДГМА, 2012. - №3 (32). – С. 35 – 39. ISSN 2076 – 2151.