

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення втулки 34.08.609 з
дослідженням процесу вигладжування поверхонь роликками

Виконав: студент VI курсу, групи МПм-61
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Бегман Є.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення втулки 34.08.609 з дослідженням процесу вигладжування поверхонь роликами”.

У кваліфікаційній роботі представлено схему використання методу ковзаючого вигладжування роликом циліндричної поверхні на токарному верстаті.

Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану оправки із роликом при дії радіальної та тангенціальної сили вигладжування.

Під час досліджень виконувалось проектування різних варіантів оправок із роликом для вигладжування з вибором оптимального варіанту. Після цього здійснено вибір матеріалів оправки, осі обертання та ролика, накладання обмежень на хвостову плоску частину оправки, що закріплюється у різцетримачі та силового навантаження на вершині тороїдної поверхні ролика, в якій здійснюється контакт із поверхнею заготовки, силове навантаження складалось із двох сил: нормальної до поверхні ролика, та тангенціальної, розміщеної під кутом α розташування ролика відносно заготовки, генерування кінцево-елементної сітки моделі. В результаті проведених розрахунків програмним забезпеченням одержали графічне відображення з поперечним січенням величин напружень та деформацій в оправці, осі обертання та ролику, а також місць, що мають найменший запас міцності.

Представлено результати експериментальних досліджень та виведено рівняння регресії шорсткості поверхні заготовки після вигладжування роликом залежно від зміни: сили вигладжування, що направлена перпендикулярно до поверхні заготовки, подачі ролика із оправкою та кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення втулки 34.08.609.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження параметрів процесу вигладжування циліндричних поверхонь роликами.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування роликом.....	
2.3. Висновки.....	
3 Технологічно-конструкторська частина	
3.1. Службове призначення деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу	
3.4. Визначення припусків на оброблення.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок пристосування.....	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

Методи поверхневого пластичного деформування знижують шорсткість та підвищують мікротвердість оброблених поверхонь, створюють залишкові напруження стиснення на глибину до 0,8 мм. В основі цих методів є механізм зміцнення поверхневих шарів за рахунок їх пластичної деформації та виникнення явища наклепування.

Одним із методів поверхневого пластичного деформування є процес вигладжування поверхонь, що включає один або декілька елементів, які здійснюють деформування поверхневого шару заготовки та відносний рух по попередньо обробленій поверхні і мають твердість значно вищу ніж оброблена поверхня.

При звичайному методі вигладжування роликом, рух ролика, що виконує поверхневе деформування відносно попередньо механічно обробленої поверхні складається із чистого обертання та прямолінійного переміщення паралельно осі заготовки. Однак, коли вісь деформувального ролика з тороїдною робочою поверхнею розміщена відносно осі заготовки під певним кутом, виникає відносна швидкість ковзання між роликом та обробленою поверхнею. Величину та напрямок цієї швидкості можна змінювати у широкому діапазоні, змінюючи кут повороту осі обертання ролика відносно осі обертання заготовки. Отже, у звичайний метод вигладжування коченням можливо додавати також елементи вигладжування ковзанням. Тому дослідження параметрів процесу вигладжування поверхні роликом розміщеним відносно осі заготовки під певним кутом є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення втулки 34.08.609.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Одним із методів фінішного оброблення металевих деталей машин є статичні методи поверхневого пластичного деформування, в основі яких є зміцнення поверхневих шарів за рахунок їх пластичної деформації та виникнення явища наклепування. Методи поверхневого пластичного деформування знижують шорсткість та підвищують мікротвердість оброблених поверхонь, створюють надлишкові напруження стиснення на глибину до 0,8 мм. [12]. Одним із методів поверхневого пластичного деформування є процес вигладжування поверхонь, що включає один або декілька елементів, які здійснюють деформування поверхневого шару заготовки та відносний рух по попередньо обробленій поверхні і мають твердість значно вищу ніж оброблена поверхня.

За типами контакту між елементами, що здійснюють деформування та обробленою поверхнею методи вигладжування поділяються на дві групи: із контактом фрикційного ковзання або контактом кочення. Метод вигладжування ковзанням виконується нерухомою частиною інструмента, тоді як вигладжування роликami або кульками здійснюється через контакт кочення (рис. 1.1). Робоча поверхня роликів може бути циліндричною, бочкоподібною або тороїдною.

Режими роботи методів вигладжування залежить від мети оброблення поверхні: зменшення висоти мікронерівностей, підвищення величини деформування шару із підвищенням його твердості, збільшення товщини шару з розподіленими на максимальну глибину залишковими напруженнями стиснення. Вибір режимів оброблення залежить від необхідних експлуатаційних властивостей деталей.

У багатьох роботах проведено порівняння різних типів вигладжування поверхні: ковзанням, обкатування роликом, обкатування кулькою. Основним

критерієм досліджень було забезпечення визначених характеристик оброблених поверхонь та експлуатаційних властивостей деталей, оброблених цим методом.

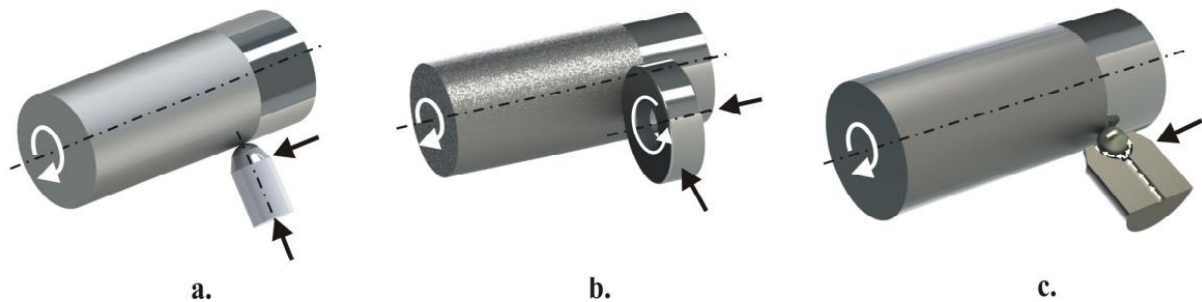


Рисунок 1.1 – Методи вигладжування поверхні: (а) ковзанням; (b) роликом; (с) кулькою [15]

У роботі [18] проведено дослідження і порівняння методу вигладжування ковзанням за допомогою алмазної сферичної вставки, вигладжування роликом та вигладжування із підвищеними зусиллями деформування заготовки із сталі 41Cr4. Встановлено, що вигладжування ковзанням із силою вигладжування 300 Н дозволяє досягати нижчої шорсткості, вищої поверхневої мікротвердості та вищої втомної міцності оброблених деталей при кімнатній температурі порівняно із вигладжуванням роликом при силі вигладжування 300 Н та 1300 Н при інших однакових режимах обробки.

Завдяки фрикційному контакту ковзання вигладжування алмазною вставкою дозволяє досягнути більших еквівалентних пластичних деформацій поверхневого шару деталі, що призводить до більшої величини його зміцнення наклепуванням. Як результат поверхнева мікротвердість та одержані залишкові напруження стиснення є вищими, що призводить до підвищення втомної міцності деталей при різних циклах навантаження. Однак, одержані ефекти вигладжування ковзанням найбільше проявляються при обробленні деталей із негартованих сталей, що експлуатуються при нормальних умовах. При вищих температурах експлуатації спостерігається релаксація внутрішніх залишкових напружень.

Наприклад, для деталей із сталі AISI 304 залишкові напруження стиснення, виміряні для аустенітної та мартенситної фаз, одержані внаслідок вигладжування ковзанням за допомогою сферичної алмазної вставки, знижуються від 50% до 0% від поверхневого шару на глибину до 0,1 мм після нагрівання при температурі 450 °C протягом двох годин [23].

При більшій глибині розподіл залишкових напружень залишався приблизно постійним. Для підвищення втомної міцності деталей із загартованих сталей, що експлуатуються при високих температурах у роботі [24] розроблено процес вигладжування із низькою пластичністю з адаптивним динамічним контролем. Даний процес виконано, застосовуючи вигладжування кулькою під дією гідростатичного тиску, при цьому еквівалентні пластичні деформації поверхневого шару підтримувались на рівні нижче 5%. Отже, надані залишкові напруження залишались стабільними навіть при температурі 600 °C [25].

У роботі [15] проведено дослідження вигладжування деталей із нержавіючої хромо-нікелевої аустенітної сталі, що експлуатуються при температурі нижче 350 °C і які мають схильність до корозії між гранулами.

У роботі [26] вигладжування поверхні роликком застосовано для покращення властивостей поверхневих шарів та підвищення стійкості до зношування деталей із сталі 316L. Покращення корозійної стійкості сталі 304L поєднанням процесів вигладжування роликком та криогенного охолодження представлено у роботі [27]. Вплив вигладжування кулькою із гідростатичним тиском на втомну стійкість зразків із сталі 304 досліджено у роботі [14].

У роботі [15] представлено результати теоретичного та експериментального дослідження і порівняння процесів вигладжування роликком та ковзаючого вигладжування роликком. Об'єктом порівняння були одержані параметри обробленої поверхні: шорсткість, мікротвердість та залишкові напруження на циліндричних заготовках із сталі AISI 316.

Кінематику способу ковзаючого вигладжування роликком та інструмент для реалізації цього процесу представлено на рис. 1.2.

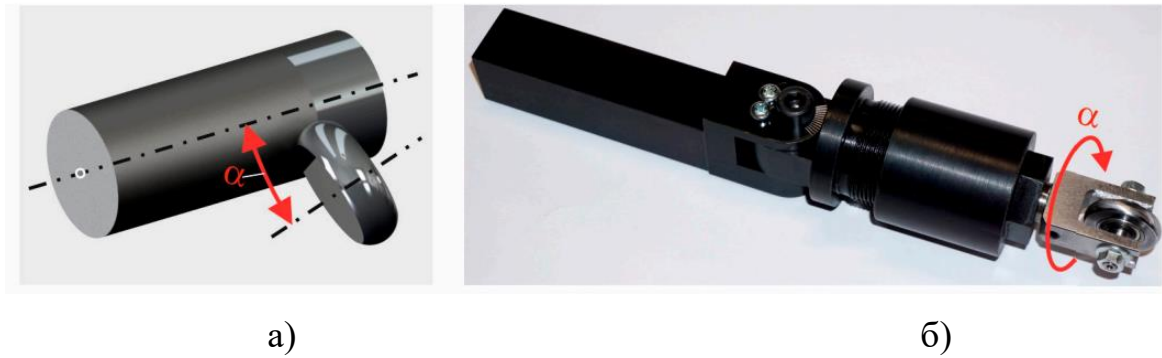


Рисунок 1.2 – Спосіб ковзаючого вигладжування роликом а) кінематика процесу; б) інструмент для реалізації процесу [28]

Кінематику головного руху методу ковзаючого вигладжування роликом без врахування руху подачі схематично представлено на рис. 1.3. Точка O – центр контакту між роликом із зовнішнім радіусом r та заготовкою.

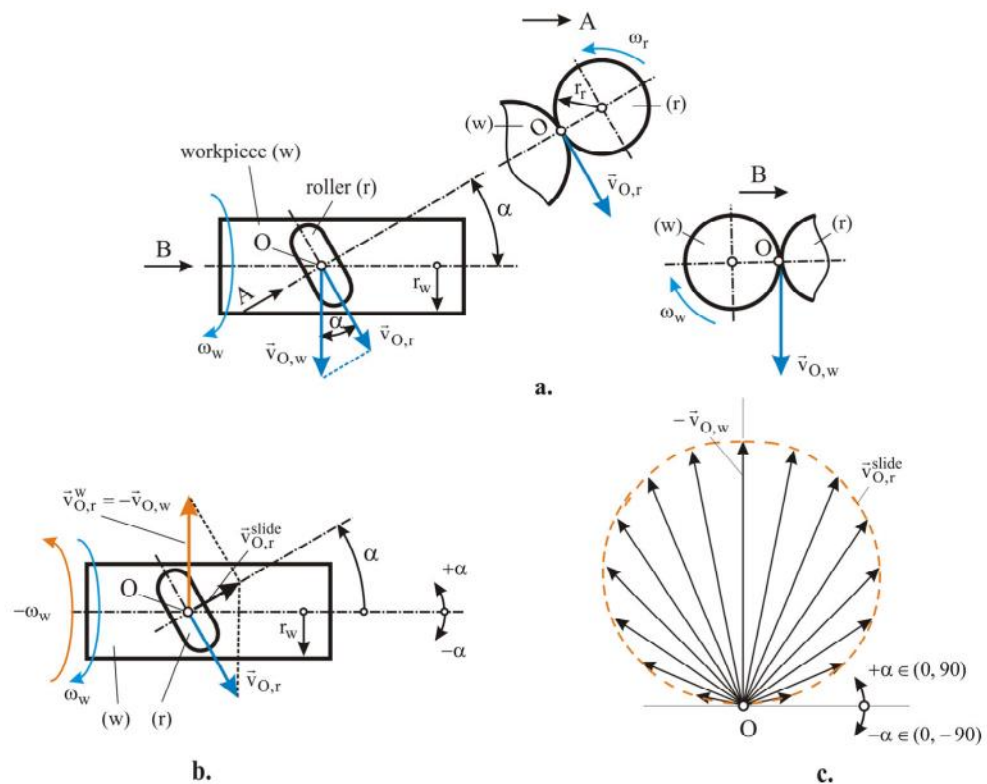


Рисунок 1.3 – Кінематика головного руху методу ковзаючого вигладжування роликом без врахування руху подачі [15]

Швидкість точки O , яка розглядається на периферійній поверхні заготовки має величину

$$v_{O,w} = \omega_w r_w, \quad (1.1)$$

де r_w – зовнішній радіус заготовки.

Швидкість точки О, яка розглядається на периферійній поверхні ролика має величину

$$v_{O,r} = \omega_r r_r, \quad (1.2)$$

де r_r – зовнішній радіус ролика.

Співвідношення між величинами обидвох швидкостей [15]:

$$v_{O,r} = v_{O,w} \cos \alpha. \quad (1.3)$$

Якщо системі ролик-заготовка надати кутову швидкість $-\omega_w$ (рис. 1.3), то заготовка буде нерухомою, а ролик буде обертатись навколо осі заготовки з кутовою швидкістю $-\omega_w$, одночасно він буде обертатись навколо власної осі із кутовою швидкістю ω_r . Тоді швидкість точки О, що належить ролику є векторною сумою двох компонентів [15]:

$$\vec{v}_{O,r}^s = -\vec{v}_{O,w} + \vec{v}_{O,r}. \quad (1.4)$$

Результуючим вектором $\vec{v}_{O,r}^s$ є швидкість ковзання ролика відносно заготовки. Із трикутника рис. 1.3 встановлено величину швидкості ковзання [15]:

$$v_{O,r}^s = v_{O,w} \sin \alpha. \quad (1.5)$$

Діаграму величини швидкості ковзання представлено на рис. 1.3. при $\alpha = 0$ градусів осі заготовки та ролика паралельні. Ролик виконує чисте прокочування без ковзання відносно обробленої поверхні заготовки, тобто виконується вигладжування роликом. При $\alpha = \pm 90$ градусів осі заготовки та ролика будуть ортогональними, при цьому ролик буде нерухомим, а швидкість ковзання буде

максимальною та буде дорівнювати швидкості периферійної точки заготовки, що відповідає вигладжуванню ковзання. Для інших випадків ($0^\circ < |\alpha| < 90^\circ$) виконується метод ковзаючого вигладжування роликом. Тобто методи вигладжування роликом та вигладжування ковзанням є окремими випадками ковзаючого вигладжування роликом.

Кінематика процесу ковзаючого вигладжування роликом представлено на рис. 1.4.

Швидкість ролика при виконанні руху подачі і має величину:

$$v_f = nf, \quad (1.6)$$

де n – частота обертання заготовки,

f – подача ролика.

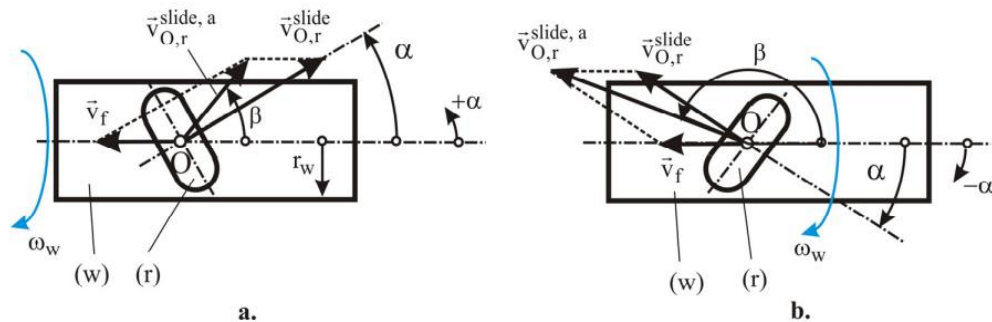


Рисунок 1.4 – Кінематика ковзаючого вигладжування роликом із врахування руху подачі: а) $0^\circ < \alpha < 90^\circ$; б) $-90^\circ < \alpha < 0^\circ$ [15]

Абсолютну швидкість ковзання визначають як векторну суму [ct]:

$$\vec{V}_{O,r}^{sa} = -\vec{V}_{Or}^s + \vec{V}_f. \quad (1.7)$$

Враховуючи формулу (1.5) та геометричні залежності, представлені на рис. 1.3, знайдено величину абсолютної величини ковзання [15]:

$$v^a = \sqrt{v_{Ow}^2 \sin^2 \alpha + v_f^2 - v_{Ow} v_f \sin 2\alpha}. \quad (1.8)$$

Кут β між вектором абсолютної швидкості ковзання та віссю заготовки

визначається рівнянням [15]:

$$\beta = \arccos\left(\frac{v \cos \alpha - v_f}{v^a}\right). \quad (1.9)$$

На рис. 1.5 представлено залежність зміни абсолютної швидкості v^a ковзання та швидкості ковзання v від кута α при подачі $f = 0,1$ мм/об та радіусі заготовки $r_w = 9,55$ мм. При цьому зроблено висновки, що при малих кутах перетину осі ролика та заготовки ($0 < \alpha \leq 5^\circ$) рух подачі має малий вплив на величину та напрямок швидкості ковзання, а абсолютна швидкість ковзання незначно відрізняється від швидкості ковзання. Різниця зменшується при зменшенні подачі та радіуса заготовки.

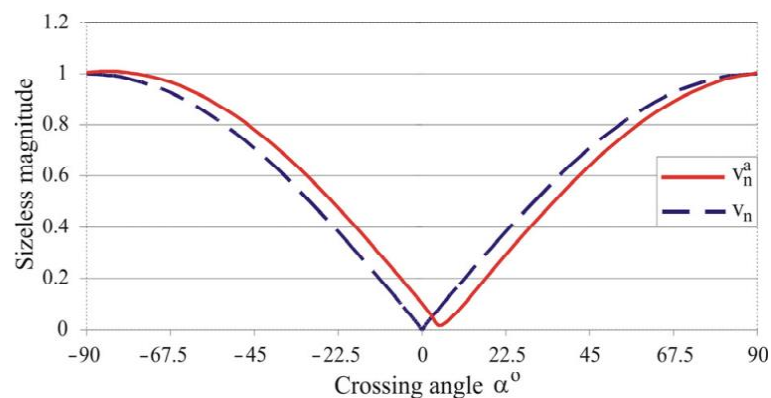


Рисунок 1.5 – Залежність зміни приведених абсолютної швидкості v^a ковзання та швидкості ковзання v від кута α [15]

Також необхідно відмітити, що при відомих методах вигладжування ковзанням швидкість ковзання завжди перпендикулярна осі заготовки, що обмежує спектр варіацій структур оброблених поверхонь. При методі ковзаючого вигладжування роликом, що дозволяє змінювати кут β в широкому діапазоні, забезпечується можливість одержання більшої кількості варіантів структури поверхні.

Компанією Integi [29] розроблено інструмент для вигладжування поверхонь із роликом HBU 42, що представлений на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Інструмент для вигладжування циліндричних поверхонь із роликом HBU 42 компанії Integi [29]

Інструмент (рис. 1.6) спроектовано для вигладжування різноманітних профілів поверхонь обертання на токарному верстаті. Обладнаний поворотною робочою частиною із шкалою. Ролик підтримується між двома опорними підшипниками. Може використовуватись для оброблення заготовок різноманітних матеріалів із твердістю до 45 HRC. Вісі обертання виконано із твердого сплаву. Ролик має U-подібну форму, виготовлений із швидко ріжучої сталі із твердістю 62 HRC та полірованою поверхнею із шорсткістю $Ra < 0,4$ мкм.

В інструменті HBM 20-B компанії Integi [29] для вигладжування поверхонь (рис. 1.7) на токарному верстаті робоча частина інструменту оснащена внутрішньою пружинною системою, яка дозволяє регулювати тиск на заготовку, створюючи його однорідним для усіх заготовок.



Рисунок 1.7 – Інструмент для вигладжування циліндричних поверхонь із роликом HBM 20-B компанії Integi [29]

Ролик встановлено на упорний та радіальний підшипники, решта характеристик відповідають інструменту рис. 1.6.

Компанією Cogsdill [30] розроблено інструмент для вигладжування поверхонь на токарному верстаті, що представлений на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Інструмент для вигладжування циліндричних поверхонь компанії Cogsdill [30]

Перед початком процесу вигладжування інструмент (рис. 1.8) підводиться до контакту із заготовкою, потім переміщується по заготовці із подачею 0,08-0,13 мм/об, при цьому ролик коливається на пружинній системі. Для підвищення сили вигладжування не рекомендовано використовувати поперечну подачу інструменту, для цього необхідно використовувати регулювальний гвинт на інструменті. Це дозволяє запобігти пошкодженню інструменту та заготовки при підведенні до заготовки чи перериваннях обробленої поверхні. Для одержання оптимальних результатів та підвищення стійкості інструменту необхідно використовувати мастильно-охолоджуюче технологічне середовище. Для кращих результатів подачу інструменту необхідно здійснювати у напрямку шпинделя при оброблені поверхонь обертання та до осі обертання заготовки при обробленні торцевих поверхонь.

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що за типами контакту між елементами, що здійснюють деформування та обробленою поверхнею методи вигладжування поділяються на дві групи: із контактом фрикційного ковзання або контактом кочення. Метод вигладжування ковзанням виконується нерухомою частиною інструмента, тоді як вигладжування роликками або кульками здійснюється через контакт кочення. Робоча поверхня роликів може бути циліндричною, бочкоподібною або тороїдною. Методи поверхневого пластичного деформування вигладжуванням знижують шорсткість та підвищують мікротвердість оброблених поверхонь, створюють надлишкові напруження стиснення на глибину до 0,8 мм. Тому дослідження процесів вигладжування поверхонь обертання та параметрів інструментів є актуальним завданням.

У кваліфікаційній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Представити схему використання методу ковзаючого вигладжування роликом циліндричної поверхні на токарному верстаті.
2. Провести дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану оправки із роликом при дії радіальної та тангенціальної сили вигладжування.
3. Представити результати експериментальних досліджень та вивести рівняння регресії шорсткості R_a поверхні заготовки після вигладжування роликом залежно від зміни: сили вигладжування, що направлена перпендикулярно до поверхні заготовки, подачі ролика із оправкою та кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки.
4. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення втулки 34.08.609.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження параметрів процесу вигладжування циліндричних поверхонь роликами

При звичайному методі вигладжування роликом, рух ролика, що виконує поверхневе деформування відносно попередньо механічно обробленої поверхні складається із чистого обертання та прямолінійного переміщення паралельно осі заготовки. Отже, точка контакту між роликом та заготовкою переміщується поверхнею заготовки, що піддається вигладжуванню по гвинтовій лінії. Кут нахилу гвинтової лінії залежить тільки від діаметра заготовки та подачі ролика. При методі вигладжування ковзанням вершина елемента деформування (алмаза, або іншого твердого матеріалу) також переміщується по гвинтовій траєкторії обробленої поверхні.

Кінематика обох згаданих методів значно обмежує їхню здатність створювати різноманітні поверхневі структури. Однак, коли вісь деформувального ролика з тороїдною робочою поверхнею розміщена відносно осі заготовки під певним кутом, виникає відносна швидкість ковзання між роликом та обробленою поверхнею. Величину та напрямок цієї швидкості можна змінювати у широкому діапазоні, змінюючи кут повороту осі обертання ролика відносно осі обертання заготовки. Отже, у звичайний метод вигладжування коченням можливо добавляти також елементи вигладжування ковзанням.

Запропонований у роботі [15] метод називають ковзаюче вигладжування роликом.

Схема використання методу ковзаючого вигладжування роликом на токарному верстаті представлена на рис. 2.1, рис. 2.2. Циліндрична заготовка 1 приводиться в обертний рух шпинделем верстата та обертається відносно власної осі із кутовою швидкістю ω_1 . Ролик 2 із тороїдною робочою поверхнею дотикається до заготовки 2 із зусиллям деформування в напрямку

перпендикулярному осі заготовки.

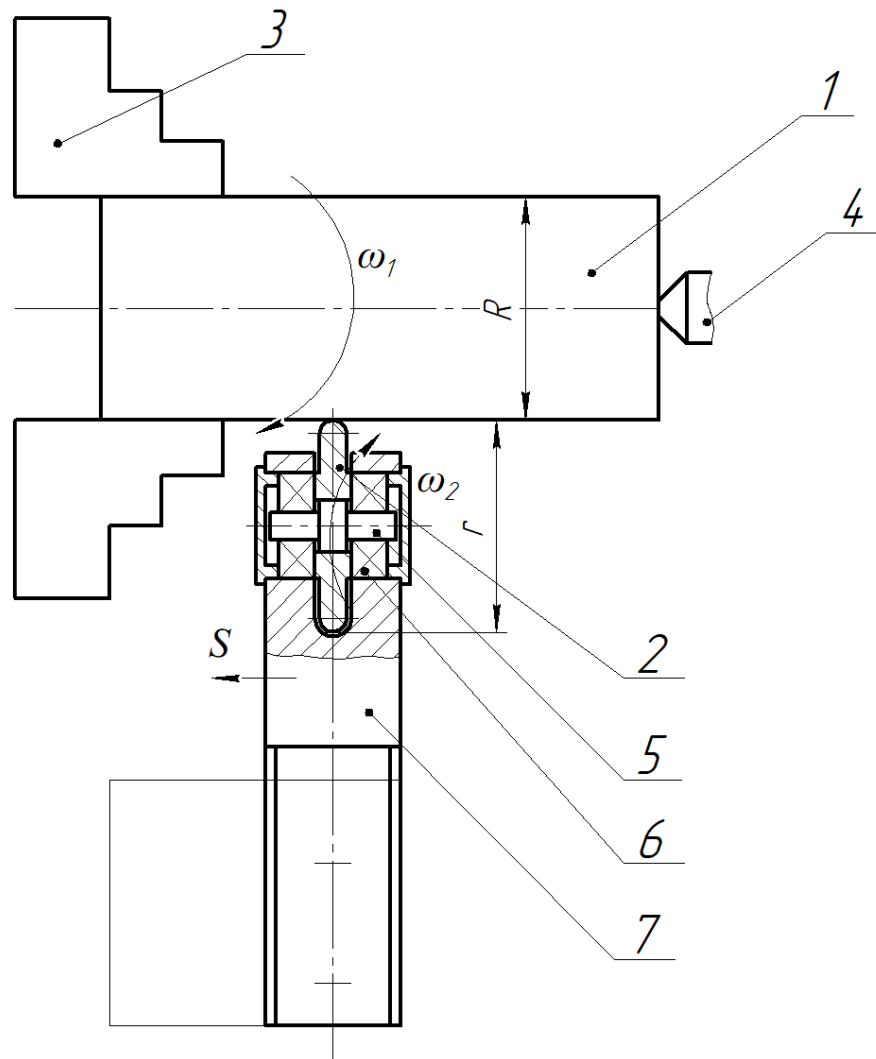


Рисунок 2.1 - Схема використання методу ковзаючого вигладжування роликом циліндричної поверхні на токарному верстаті

Вісь обертання ролика розміщена відносно осі заготовки під кутом α , що може змінюватись за абсолютною величиною від 0 до 90 градусів. Як результат контакту між роликом та поверхнею заготовки ролик обертається з кутовою швидкістю ω_2 . Рух подачі S виконується роликом, що переміщується лінійно паралельно осі обертання заготовки.

Заготовка 1 (рис. 2.1) закріплюється у трьохкулачковому патроні 3 та конічному центрі 4. Ролик 2 із посадкою натягу закріплено на осі обертання 5, що встановлена на двох підшипниках кочення 6, які розміщено в оправці 7.

Оправка 7 і весь інструмент закріплюються у супорті верстата із застосуванням спеціального поворотного пристрою.

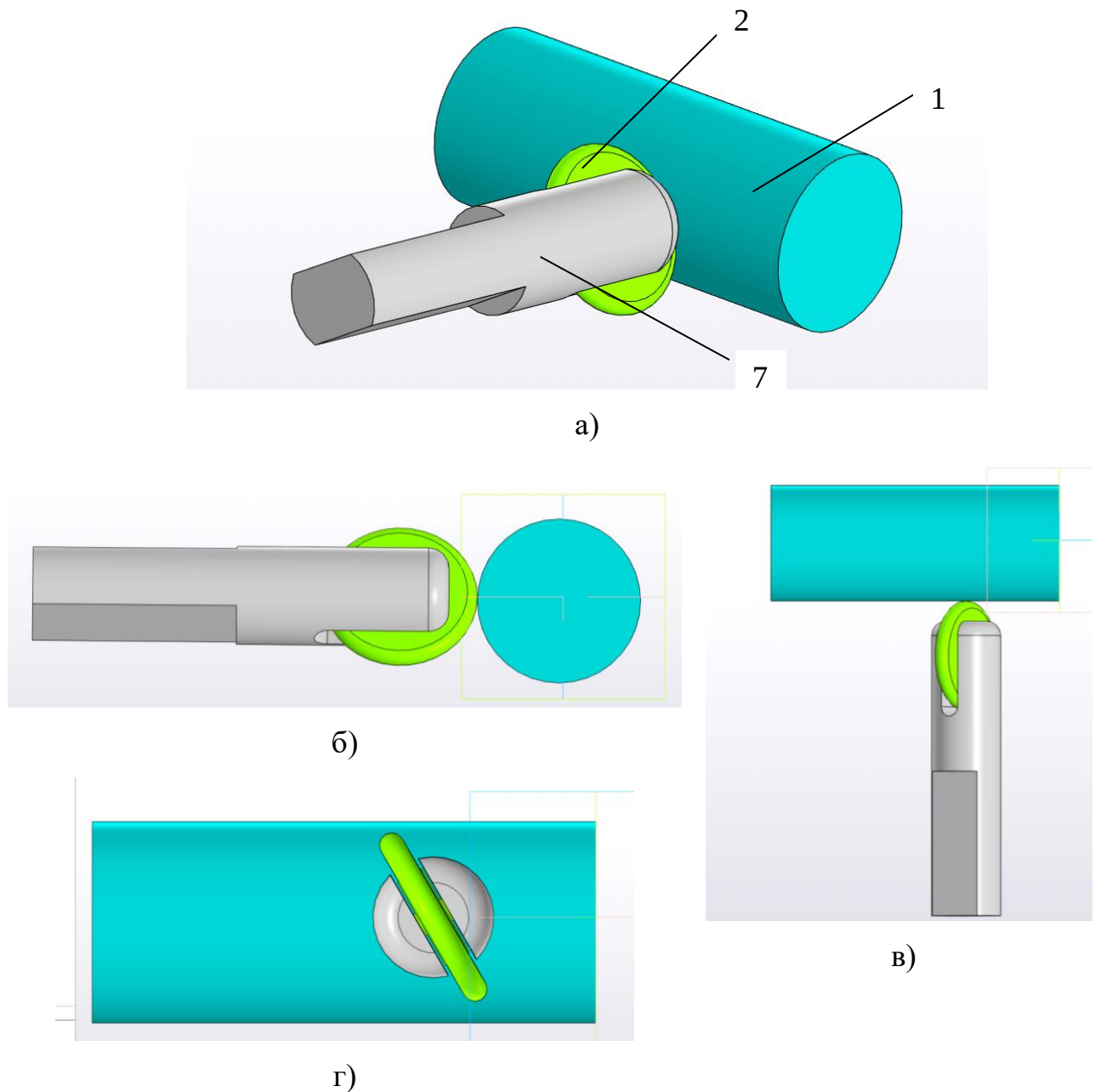


Рисунок 2.2 - Схема методу ковзаючого вигладжування роликом циліндричної поверхні: а) трьохмірне зображення; б) вигляд збоку; в) вигляд зверху; г) розташування ролика відносно заготовки

Під час проектування оправки із роликом для вигладжування циліндричних поверхонь здійснено її просторове комп'ютерне моделювання із застосуванням прикладного програмного забезпечення (рис. 2.2). Це

забезпечило виконання наступного етапу проектування - дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану оправки із роликом при дії радіальної та тангенціальної сили вигладжування.

Під час досліджень виконувалось проектування різних варіантів оправок із роликом для вигладжування з вибором оптимального варіанту. Після цього здійснено вибір матеріалів оправки, осі обертання та ролика, накладання обмежень на хвостову плоску частину оправки, що закріплюється у різцетримачі та силового навантаження на вершині тороїдної поверхні ролика, в якій здійснюється контакт із поверхнею заготовки (рис. 2.3), силове навантаження складалось із двох сил: нормальної до поверхні ролика, та тангенціальної, розміщеної під кутом α розташування ролика відносно заготовки, генерування кінцево-елементної сітки моделі (рис. 2.4). В результаті проведених розрахунків програмним забезпеченням одержали графічне відображення з поперечним січенням величин напружень (рис. 2.5) та деформацій (рис. 2.6) в оправці, осі обертання та ролику, а також місць, що мають найменший запас міцності (рис. 2.7).

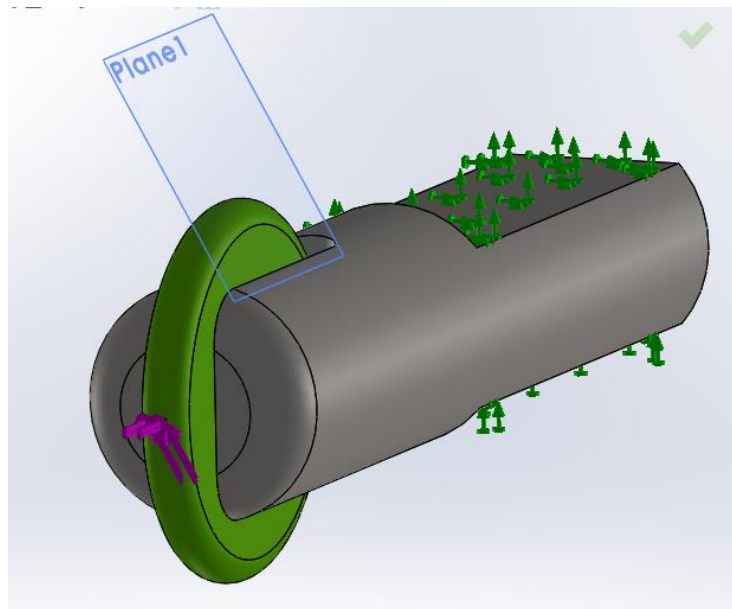


Рисунок 2.3 - Накладання обмежень на хвостову плоску частину оправки, що закріплюється у різцетримачі та силового навантаження на вершині тороїдної поверхні ролика

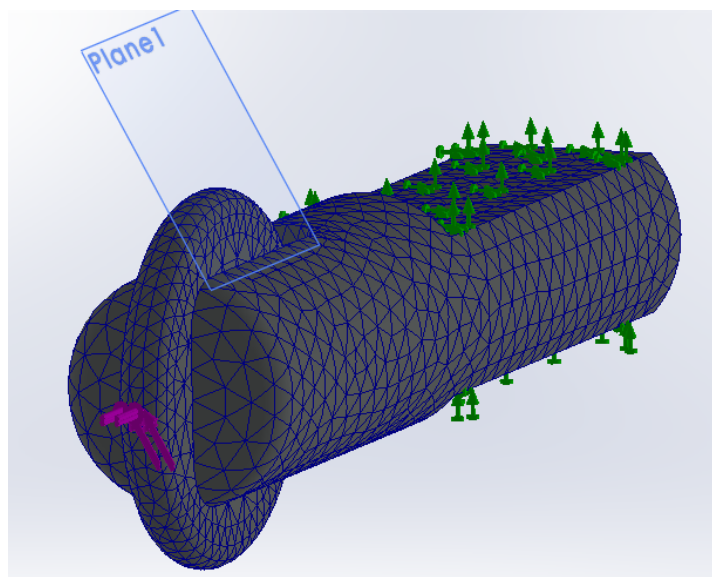
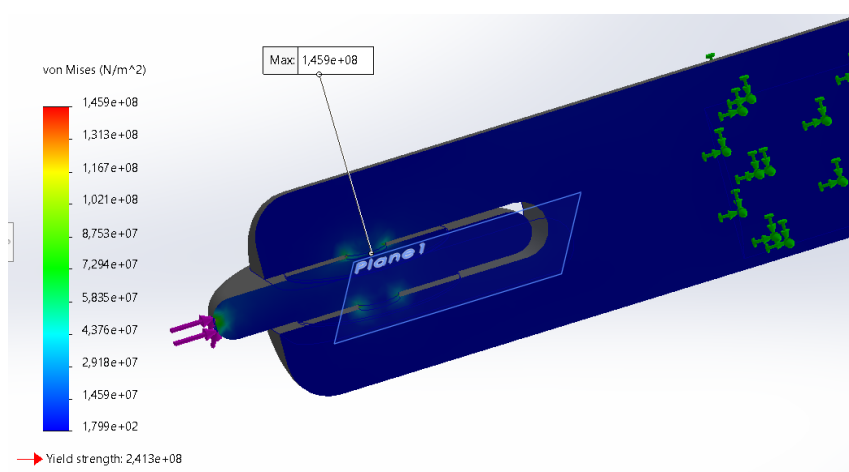
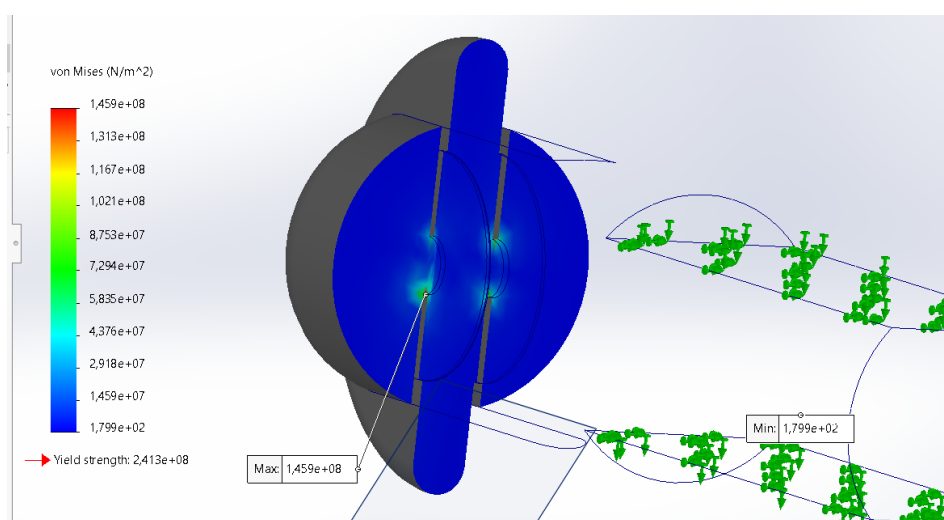


Рисунок 2.4 - Генерування кінцево-елементної сітки моделі оправки з роликком

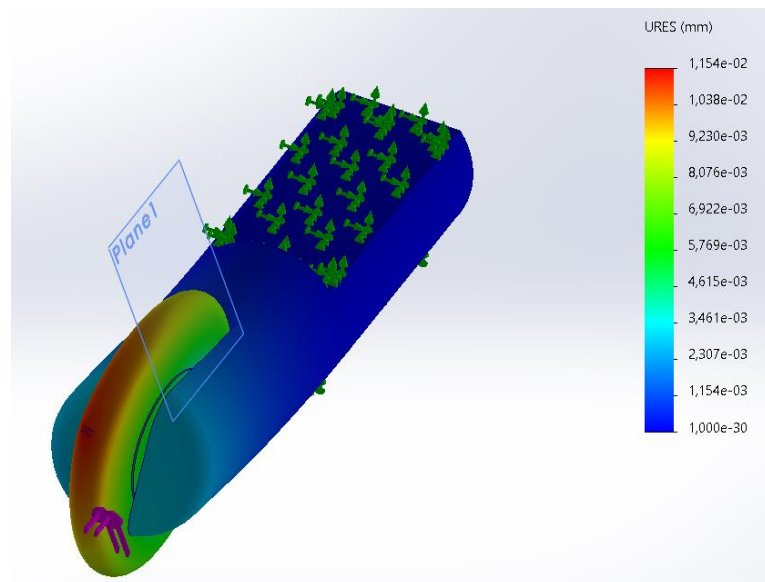


а)

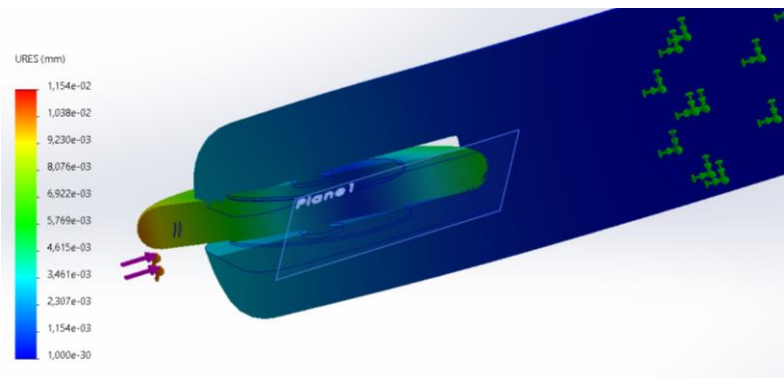


б)

Рисунок 2.5 – Величини напружень що виникають в оправці із роликком для вигладжування при дії зовнішнього радіального та тангенціального навантаження а) поздовжній переріз; б) поперечний переріз



а)



б)

Рисунок 2.6 – Величини деформацій оправки із роликом для вигладжування при дії зовнішнього радіального та тангенціального навантаження
а) загальний вигляд; б) поздовжній переріз

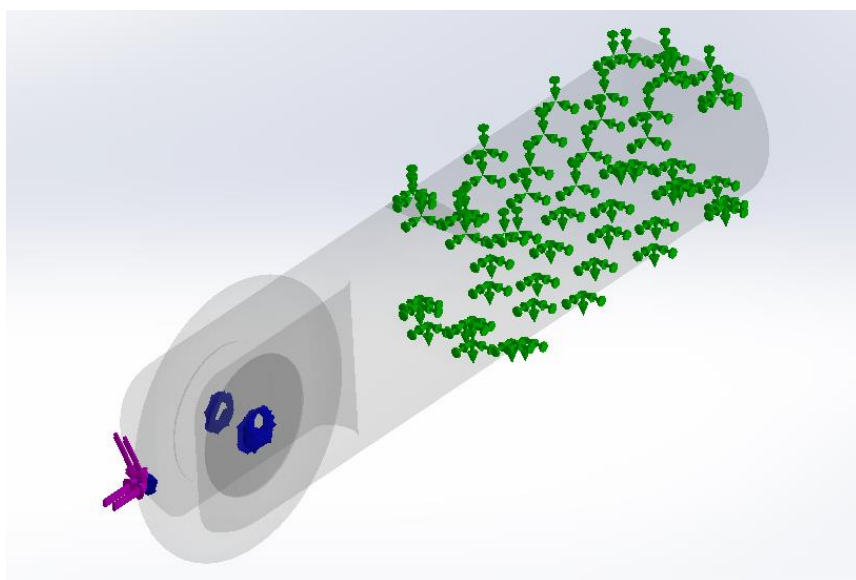


Рисунок 2.7 – Визначення місць оправки із роликом для вигладжування, що мають найменший запас міцності

На основі аналізу результатів моделювання рис. 2.5 та 2.6 визначено, що при зовнішньому радіальному навантаженні 200 Н та тангенціальному навантаженні 100 Н під кутом 30 градусів максимальні напруження виникають на ролику у місці контакту із заготовкою а також на осі обертання ролика і становлять 71 МПа та 146 МПа відповідно. Найбільші деформації виникають на ролику у місці контакту із заготовкою та на консольній частині оправки і становлять 0,012 мм та 0,0026 мм відповідно.

Одержані величини не перевищують границю текучості матеріалів оправки, осі обертання та ролика і не суттєво не впливають на точність оброблення заготовки.

При зміні зовнішньої радіальної сили від 100 Н до 600 Н та відповідного залежного від радіальної сили тангенціального навантаження від 50 Н до 300 Н одержали графіки залежності максимальних напружень (рис. 2.8, рис. 2.9), та деформацій (рис. 2.10, рис. 2.11), що виникають на ролику у місці контакту із заготовкою, на осі обертання ролика, на консольній частині оправки.

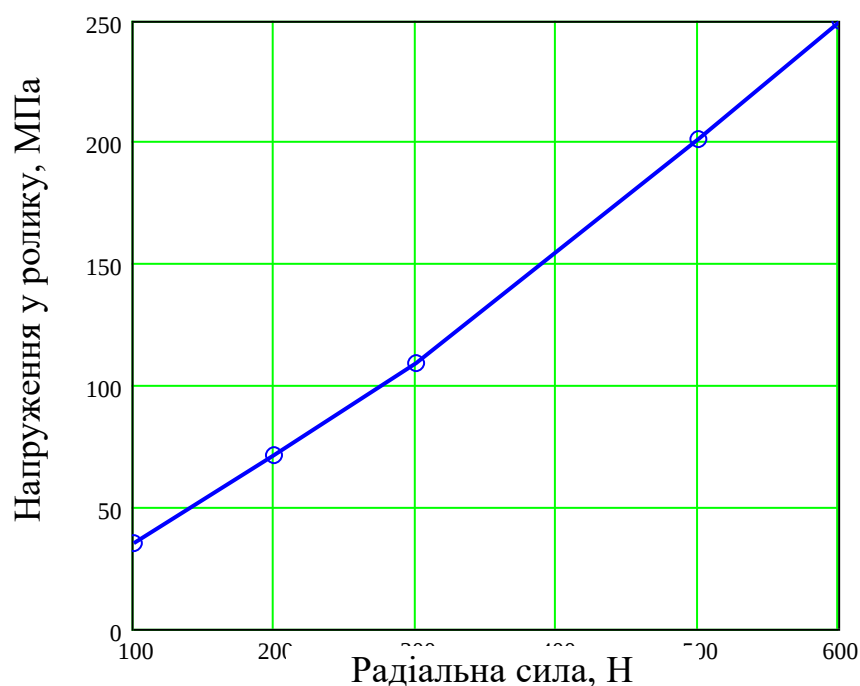


Рисунок 2.8 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у ролику у місці контакту із заготовкою від величини зовнішнього радіального навантаження

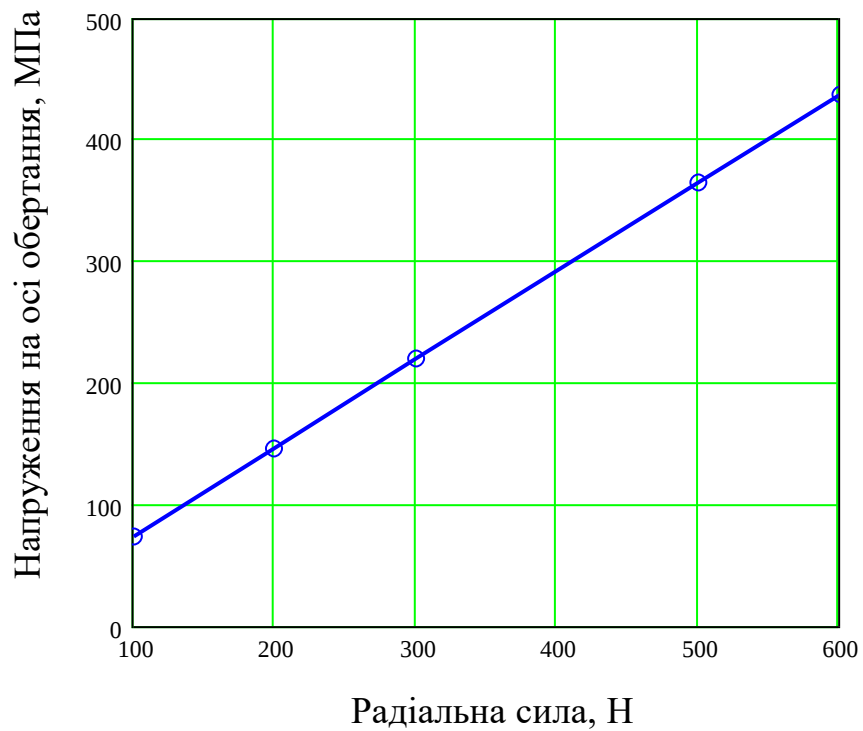


Рисунок 2.9 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають на осі обертання ролика від величини зовнішнього радіального навантаження

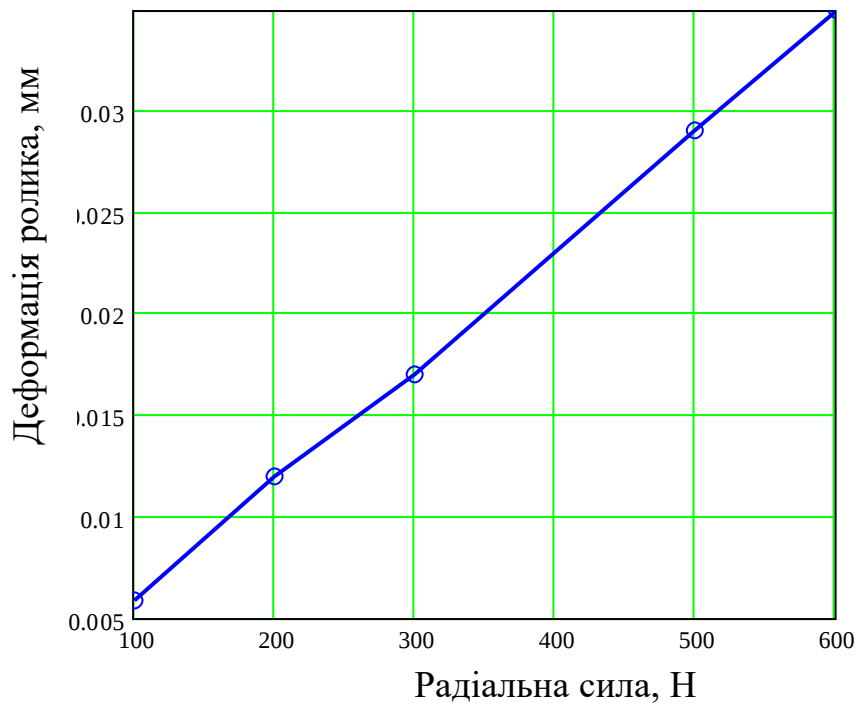


Рисунок 2.10 - Графік залежності максимальних деформацій ролика у місці контакту із заготовкою від величини зовнішнього радіального навантаження

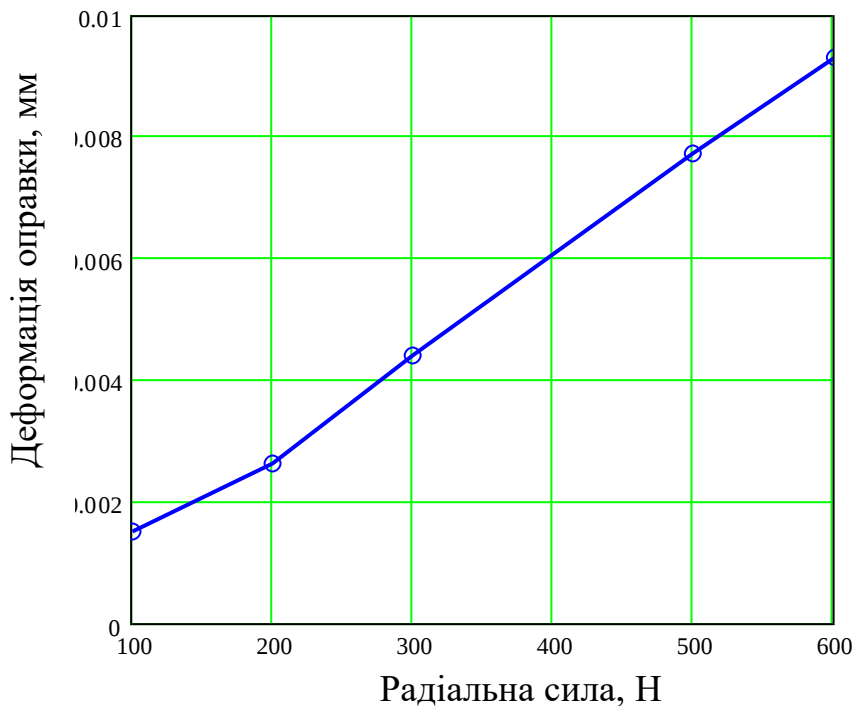


Рисунок 2.11 - Графік залежності максимальних деформацій консольної частини оправки від величини зовнішнього радіального навантаження

На основі графіків рис. 2.8 – 2.11 встановлено, що величини напружень та деформацій у ролику у місці контакту із заготовкою, на осі обертання ролика та на консольній частині оправки прямопропорційно залежать від величини зовнішньої радіальної сили вигладжування. Мінімальна величина напружень у ролику у місці контакту із заготовкою дорівнює 35 МПа, а максимальна – 250 МПа. Мінімальна величина напружень на осі обертання ролика дорівнює 73 МПа, а максимальна – 437 МПа. Мінімальна величина деформації ролика у місці контакту із заготовкою дорівнює 0,0058 мм, а максимальна – 0,035 мм. Мінімальна величина деформації консольної частини оправки дорівнює 0,0015 мм, а максимальна – 0,0093 мм.

2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування роликом

Під час виконання кваліфікаційної роботи проведено експериментальні дослідження процесу вигладжування циліндричної поверхні заготовки, зокрема

шорсткості Ra циліндричної поверхні заготовки після вигладжування роликом, вісь обертання якого нахилена на кут α відносно осі обертання заготовки. Конструктивна схема згаданого процесу представлена на рис. 2.1, рис. 2.2. Вигладжування поверхні проведено на токарно-гвинторізному верстаті. Закріплення заготовки виконувалось у трьохкулачковому патроні верстата та на конічному обертовому центрі. На оправці для вигладжування використано ролик діаметром 38 мм із тороїдною робочою поверхнею радіусом 3 мм. Для вимірювання шорсткості поверхні після вигладжування застосовано профілограф-профілометр. Діаметр заготовки, що піддавалась попередньо чистовому токарному обробленню становив 40 мм. Матеріал заготовки сталь 45.

Для виконання експериментальних досліджень побудовано план-матрицю повнофакторного експерименту, де включені три незалежні змінні вхідні параметрами на трьох рівнях. На основі аналізу наукових публікацій та можливостей устаткування для проведення досліджень встановлено, що основними факторами, які впливають на шорсткість Ra поверхні після вигладжування є: сила вигладжування F , що направлена перпендикулярно до поверхні заготовки, подача S ролика із оправкою та кут α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки.

Шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом і статистичного оброблення даних експерименту представлено у вигляді функції $Ra = f(F, S, \alpha)$.

Визначено межі варіювання факторів експерименту:

- сила вигладжування $F = 100 - 400$ Н;
- подача ролика із оправкою $S = 0,08 - 0,16$ мм/об;
- кут розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки $\alpha = 0 - 30$ град.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для сили вигладжування F :

$$X_{01} = \frac{100 + 400}{2} = 250 \text{ (Н)}; \quad (2.1)$$

- для подачі ролика із оправкою S:

$$X_{02} = \frac{0,08 + 0,16}{2} = 0,12 \text{ (мм/об)}; \quad (2.2)$$

- для кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки α :

$$X_{03} = \frac{0 + 30}{2} = 15 \text{ (град)}. \quad (2.3)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{400 - 100}{2} = 150 \text{ (Н)}; \quad x_1 = \frac{F - 250}{150}; \quad (2.4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{0,16 - 0,08}{2} = 0,04 \text{ (мм/об)}; \quad x_2 = \frac{S - 0,12}{0,04}; \quad (2.5)$$

$$\Delta X_3 = \frac{30 - 0}{2} = 15 \text{ (град)}; \quad x_3 = \frac{\alpha - 15}{15}. \quad (2.6)$$

Результати аналізу змінних факторів, що мають вплив на шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом та рівні їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Фактори, що мають вплив на шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Сила вигладжування	F , Н	x_1	150	400 (+1)	250 (0)	100 (-1)
Подача ролика із оправкою	S , мм/об	x_2	0,04	0,16 (+1)	0,12 (0)	0,08 (-1)
Кут розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки	α , град	x_3	15	30 (+1)	15 (0)	0 (-1)

Для моделювання взаємозв'язку вхідних факторів та шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом використано рівняння

регресії другої степені. Для встановлення значущості коефіцієнтів рівняння регресії застосовано критерій Стюдента. Значення розрахованих за відомими методиками коефіцієнтів рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Сталь 45	0,171	-0,02	0,046	-0,035	0	0	0	0,0092	0,0052	0,014

Загальний вигляд рівняння регресії шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом залежно від зміни: сили вигладжування F , що направлена перпендикулярно до поверхні заготовки, подачі S ролика із оправкою та кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки тобто $Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = f(F, S, \alpha)$ за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,171 - 0,02x_1 + 0,046x_2 - 0,035x_3 + 0,0092x_1^2 + 0,0052x_2^2 + 0,014x_3^2, \quad (2.7)$$

де x_1 - кодоване значення сили вигладжування F ; x_2 - кодоване значення подачі ролика із оправкою S ; x_3 - кодоване значення кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки α .

Коефіцієнти рівняння регресії b_{12} , b_{13} , b_{23} (2.7) є незначущими.

У натуральних величинах рівняння регресії шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом:

$$Ra_{(F, S, \alpha)} = 0,187 - 3,377 \cdot 10^{-4} F + 0,37S - 0,0042\alpha + 4,088 \cdot 10^{-7} F^2 + 3,25S^2 + 6,222 \cdot 10^{-5} \alpha^2. \quad (2.8)$$

На основі одержаного рівняння регресії (2.8) та даних експерименту, використовуючи прикладне програмне забезпечення, побудовано графіки, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від зміни: сили вигладжування F , що

направлена перпендикулярно до поверхні заготовки, подачі S ролика із оправкою та кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки (рис. 2.12 – 2.17).

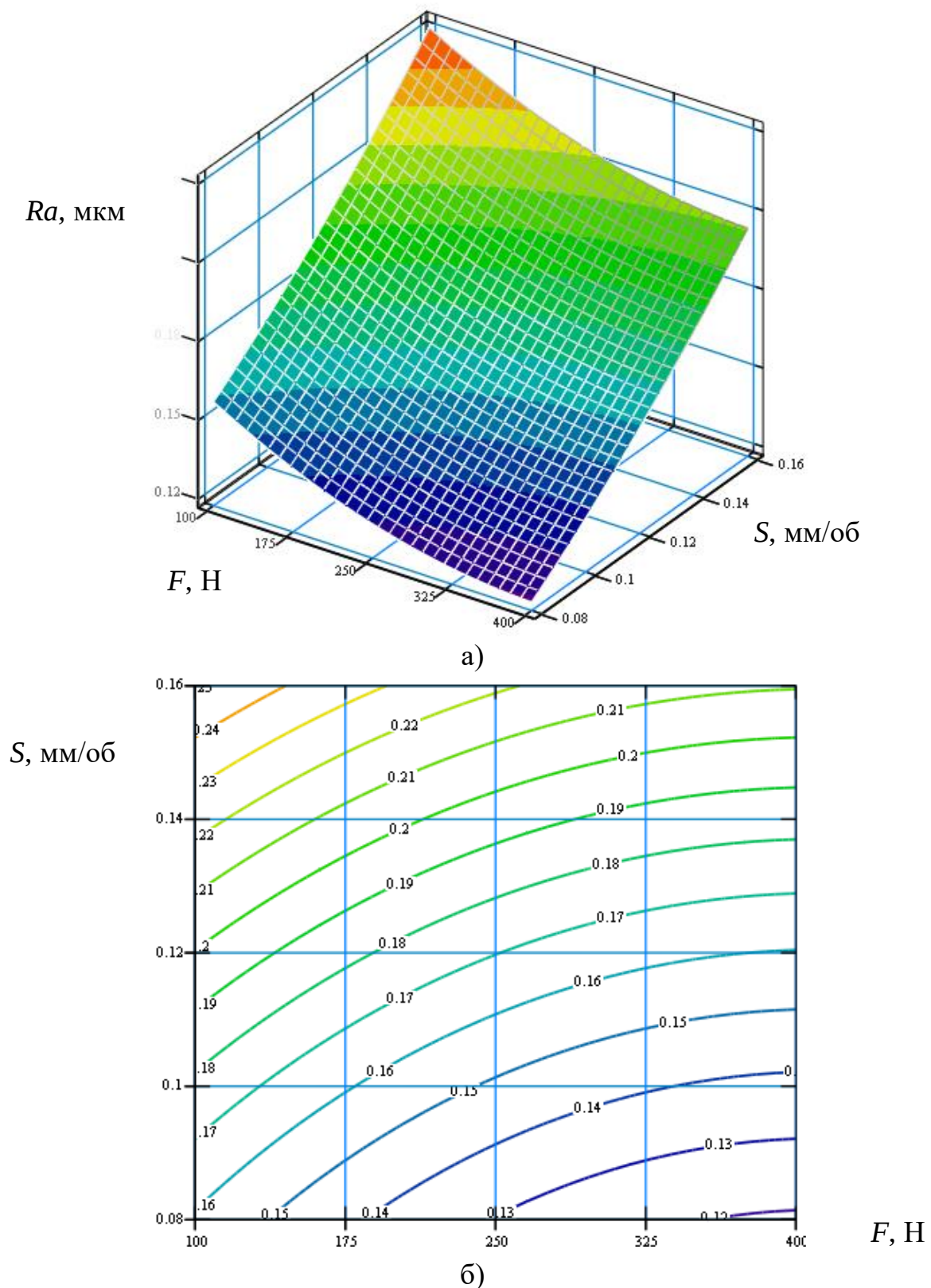
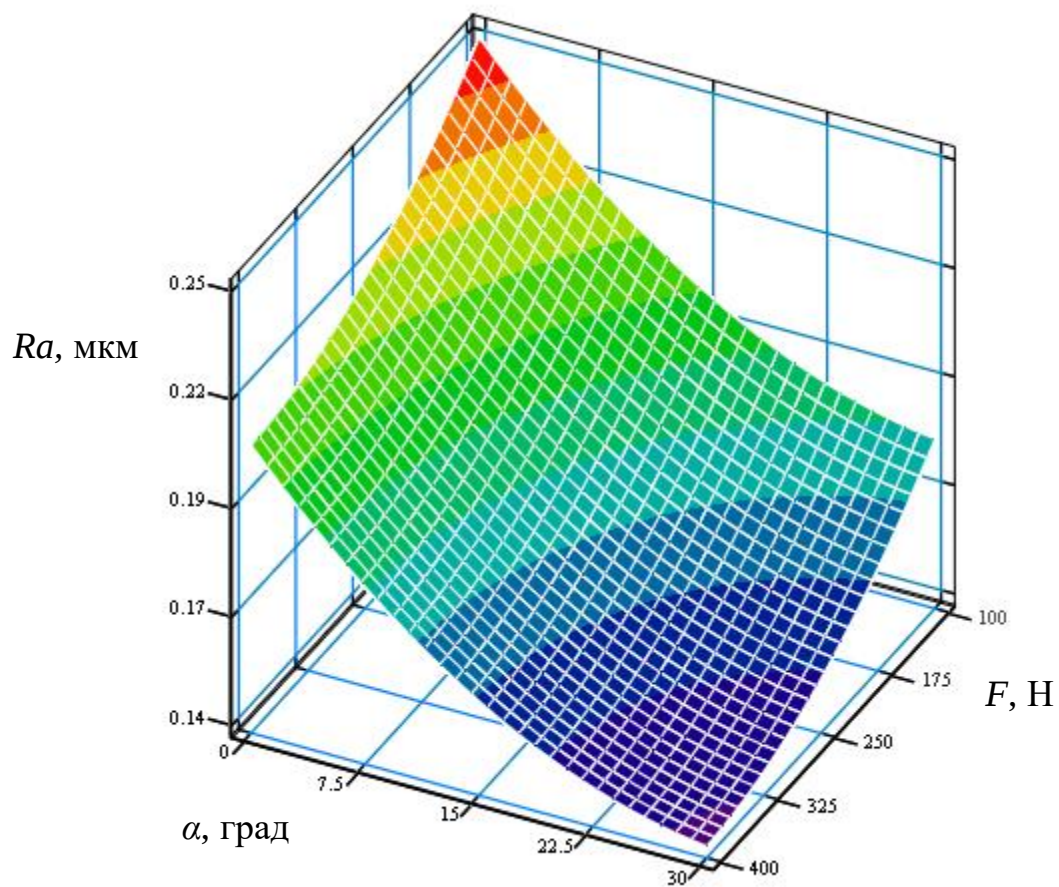
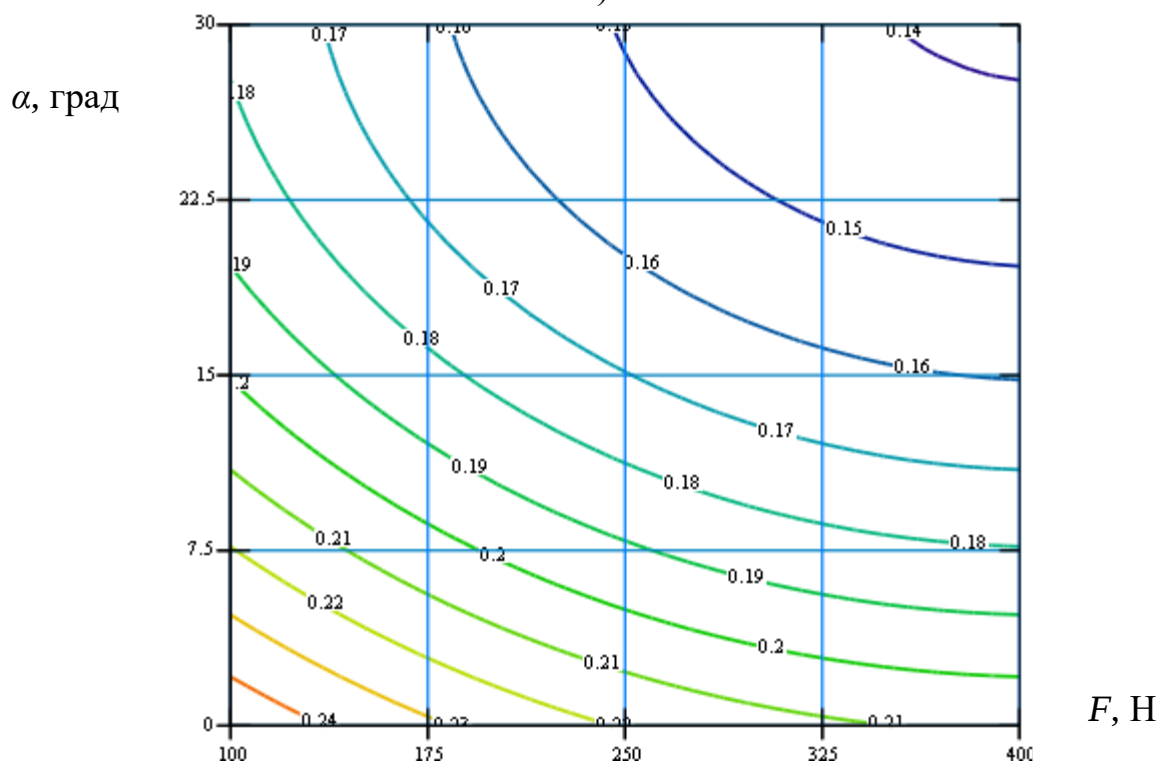


Рисунок 2.12 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від зміни сили вигладжування F та подачі S ролика із оправкою ($\alpha=15$ град)

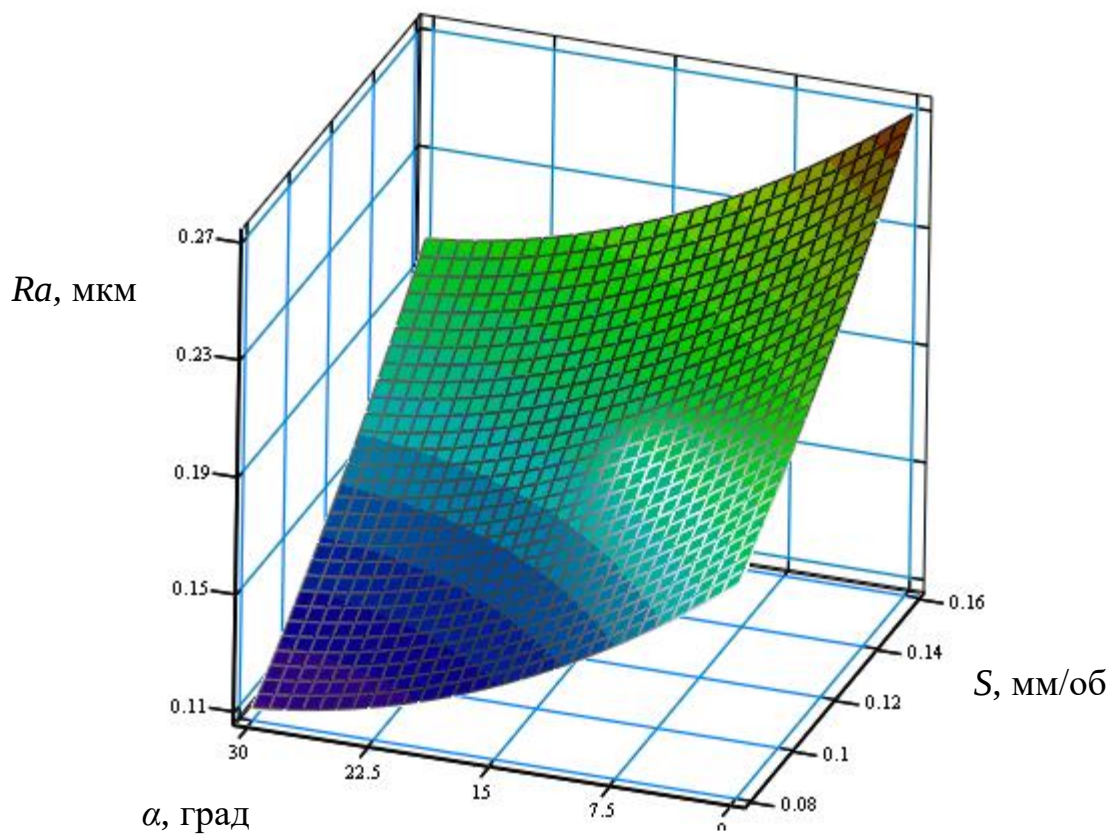


а)

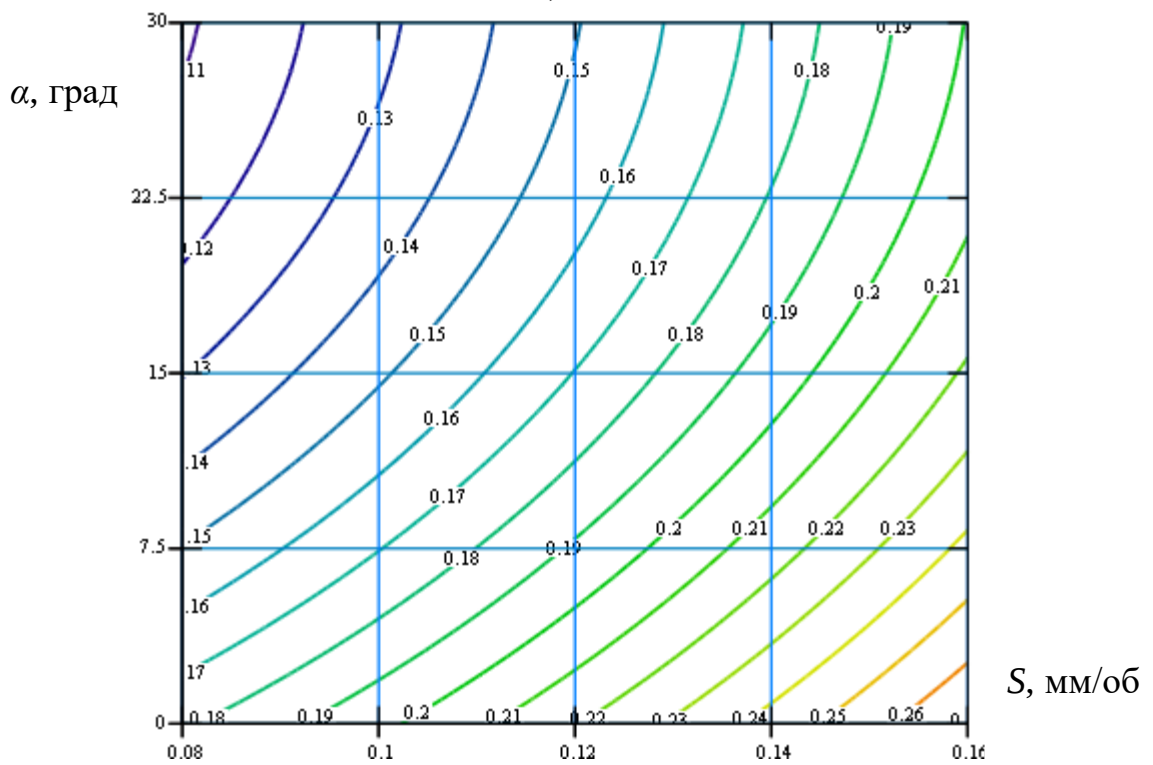


б)

Рисунок 2.13 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від зміни сили вигладжування F та кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки α ($S=0,12$ мм/об)



а)



б)

Рисунок 2.14 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від подачі S ролика із оправкою та кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки α ($F=250$ Н)

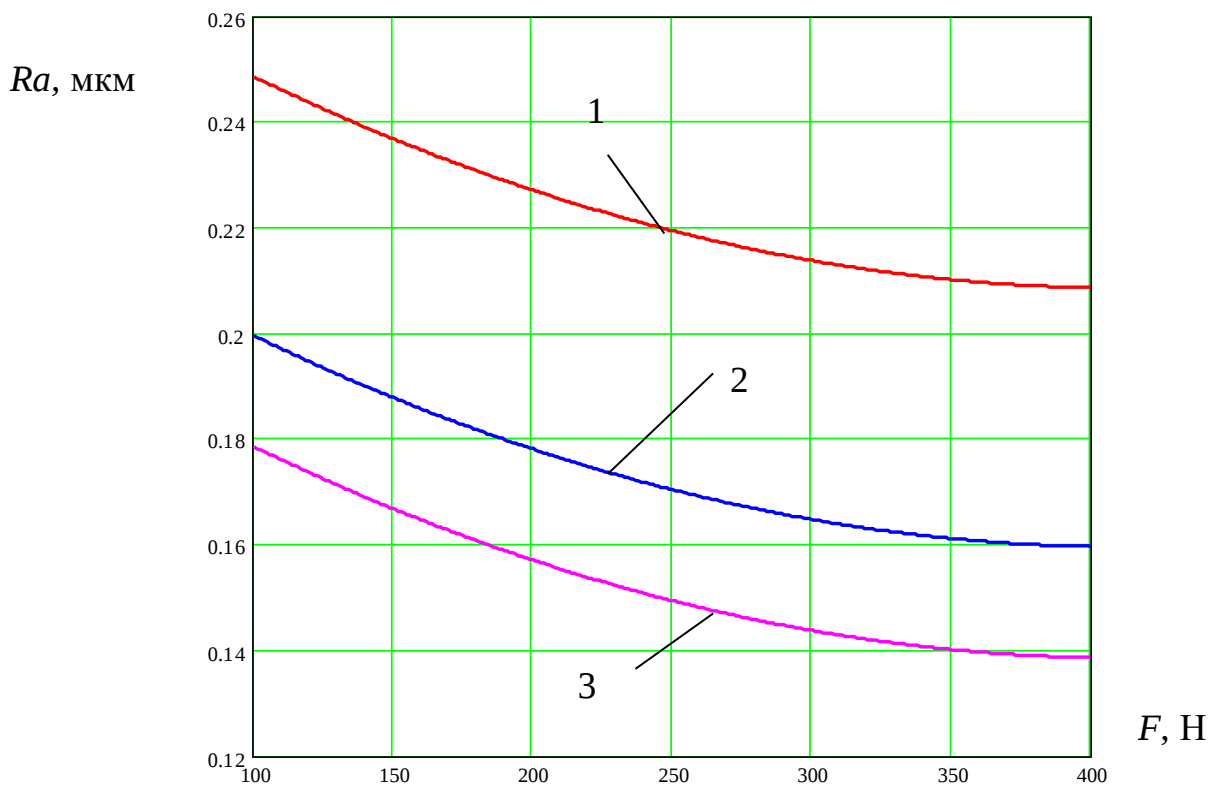


Рисунок 2.15 – Графіки залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від зміни сили вигладжування F , $S=0,12$ мм/об:
 1) $\alpha=0$ град; 2) $\alpha=15$ град; 3) $\alpha=30$ град

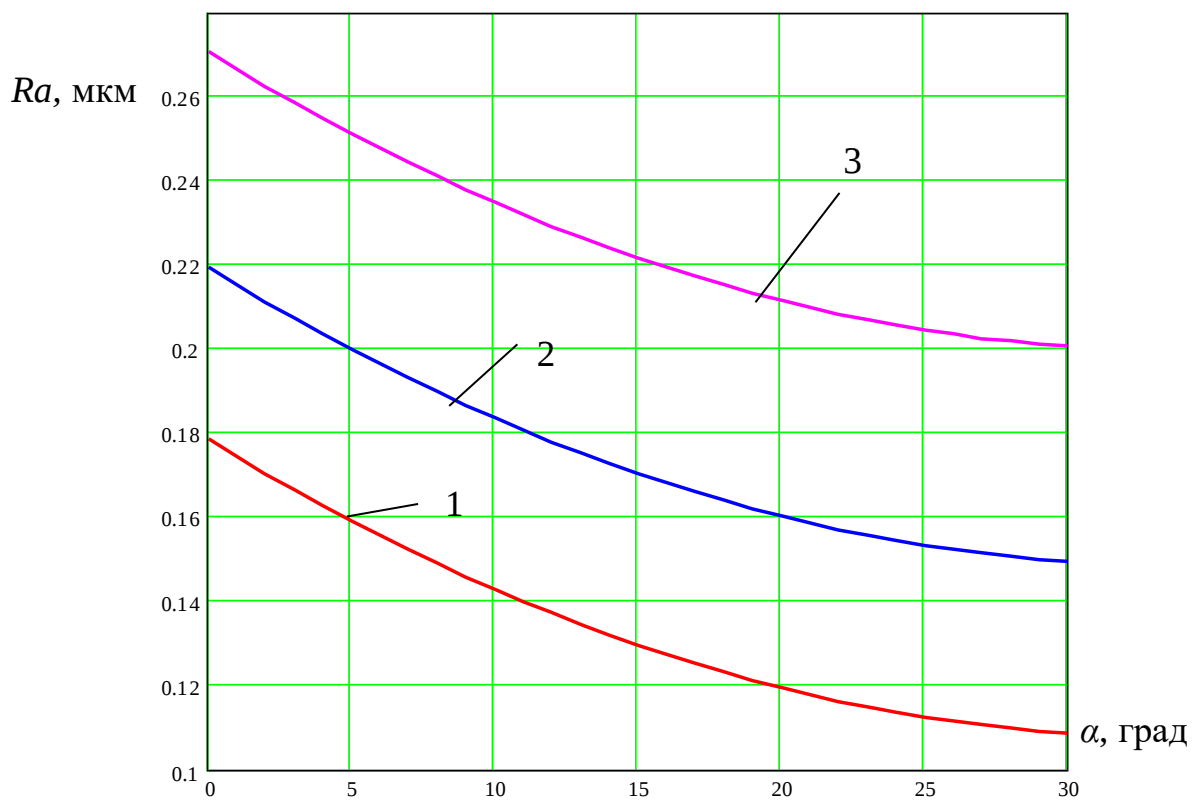


Рисунок 2.16 – Графіки залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від зміни кута розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки α , $F=250$ Н:
 1) $S=0,08$ мм/об; 2) $S=0,12$ мм/об; 3) $S=0,16$ мм/об

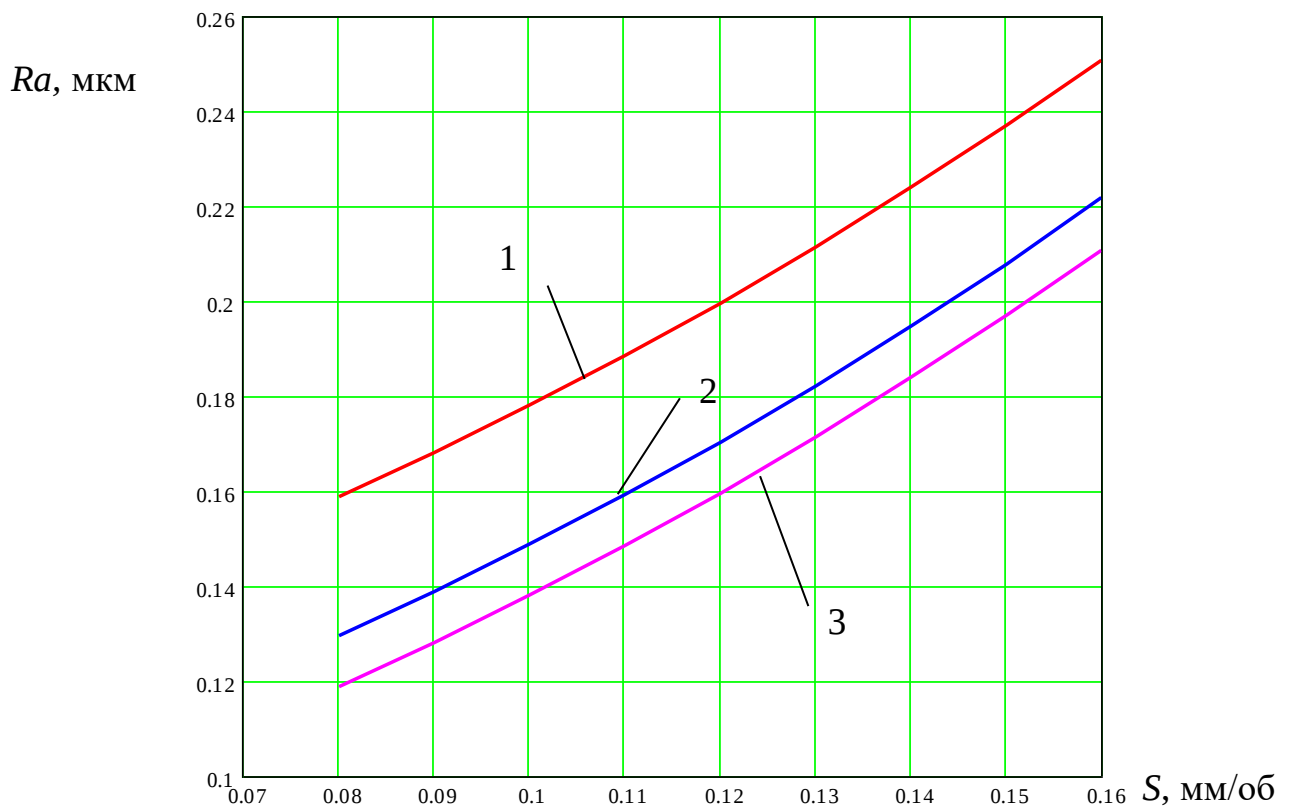


Рисунок 2.17 –Графіки залежності шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом від зміни подачі S ролика із оправкою, $\alpha=15$ град:

1) $F=100$ Н; 2) $F=250$ Н; 3) $F=400$ Н

Рівняння регресії у кодованих (2.7) та натуральних (2.8) величинах адекватно дозволяють прогнозувати шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом при таких параметрах:

$$100 \leq F \leq 400 \text{ (Н)}; 0,08 \leq S \leq 0,16 \text{ (мм/об)}; 0 \leq \alpha \leq 30 \text{ (град)}.$$

В результаті проведено аналізу графіків та рівняння регресії у кодованих величинах встановлено, що найбільший вплив на шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом має подача S ролика із оправкою. Менший вплив має кут α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки і найменший - сила вигладжування F . При збільшенні сили вигладжування F , кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування зменшується, а при збільшенні подачі S ролика із оправкою – зростає.

Максимальне значення шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом становить 0,30 мкм, а мінімальне – 0,1 мкм. Збільшення сили вигладжування F від 100 Н до 400 мм призводить до зменшення шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,09 рази. подачі S ролика із оправкою від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,56 рази, а збільшення кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки від 0 град до 30 град призводить до зменшення шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,35 рази.

2.3. Висновки

Представлено схему використання методу ковзаючого вигладжування роликом циліндричної поверхні на токарному верстаті.

Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану оправки із роликом при дії радіальної та тангенціальної сили вигладжування.

Визначено, що при зовнішньому радіальному навантаженні 200 Н та тангенціальному навантаженні 100 Н під кутом 30 градусів максимальні напруження виникають на ролику у місці контакту із заготовкою а також на осі обертання ролика і становлять 71 МПа та 146 МПа відповідно. Найбільші деформації виникають на ролику у місці контакту із заготовкою та на консольній частині оправки і становлять 0,012 мм та 0,0026 мм відповідно.

Одержані величини не перевищують границю текучості матеріалів оправки, осі обертання та ролика і не суттєво не впливають на точність оброблення заготовки.

Встановлено, що величини напружень та деформацій у ролику у місці контакту із заготовкою, на осі обертання ролика та на консольній частині оправки прямопропорційно залежать від величини зовнішньої радіальної сили

вигладжування. Мінімальна величина напружень у ролику у місці контакту із заготовкою дорівнює 35 МПа, а максимальна – 250 МПа. Мінімальна величина напружень на осі обертання ролика дорівнює 73 МПа, а максимальна – 437 МПа. Мінімальна величина деформації ролика у місці контакту із заготовкою дорівнює 0,0058 мм, а максимальна – 0,035 мм. Мінімальна величина деформації консольної частини оправки дорівнює 0,0015 мм, а максимальна – 0,0093 мм.

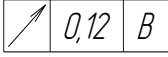
Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування роликом. Визначено, що найбільший вплив на шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом має подача S ролика із оправкою. Менший вплив має кут α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки і найменший - сила вигладжування F . При збільшенні сили вигладжування F , кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування зменшується, а при збільшенні подачі S ролика із оправкою – зростає.

Максимальне значення шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом становить 0,30 мкм, а мінімальне – 0,1 мкм. Збільшення сили вигладжування F від 100 Н до 400 мм призводить до зменшення шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,09 рази. подачі S ролика із оправкою від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,56 рази, а збільшення кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки від 0 град до 30 град призводить до зменшення шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,35 рази.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

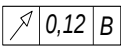
3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Втулка” 34.08.609 є деталлю сільськогосподарської машини і служить для з’єднання двох валів за допомогою внутрішньої шліцевої поверхні

Основними поверхнями деталі “Втулка” 34.08.609 є: зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 46h7_{(-0,025)}$, $Ra1,6$; , яка забезпечує посадку конструкційного елемента механізму; внутрішня шліцева поверхня $d8\times 32H8\times 38\times 6D9$, $Ra2,5$; $Ra20$ – призначена для посадки вала з’єднання; зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 60$, $Rz80$ – призначена для якісної роботи механізму.

Аналіз технічних вимог до деталі представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1, 13	Торцева поверхня $Rz80$; $130\pm 1,25$	Підрізка торця однократна	Калібр-скоба двосторонній (130)
2	Зовнішня фаска $2\times 15^\circ$; $Rz80$	Однократне точіння	Шаблон фасочний $2\times 15^\circ$
3	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 46h7_{(-0,025)}$; $Ra1,6$ 	Шліфування кругле чистове	Взірці шорсткості Калібр-скоба ($\varnothing 46$) $h7$ Биттємір Індикатор
4, 7	Фаска зовнішня 45° $Rz80$	Однократне точіння	Шаблон фасочний 45°
5	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 60_{-0,4}$; $Rz80$	Не обробляється	Штангенциркуль
6	Паз $20H14^{(+0,52)}$; 2; $Rz80$	Фрезерування дисковою фрезою	Шаблон $20^{+0,52}$ спеціальний

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
8	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 54h14_{(-0,74)}$; Rz80	Однократне точіння	Калібр-скоба ($\varnothing 54$) h14
9, 10	R2, R5 $\varnothing 45h14$	Забезпечується інструментом методом копіювання	Шаблон радіусний Штангенциркуль
11	Зовнішня ци- ліндрична поверхня $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$; Rz80	Однократне точіння	Калібр-скоба ($\varnothing 50$) h14
12	Фаска зовнішня $2 \times 45^\circ$; Rz80	Однократне точіння	Шаблон фасочний 45°
14	Фаска внутрішня $4 \times 45^\circ$; Rz80	Однократне розточування	Шаблон фасочний 45°
15	Отвір $\varnothing 32H8_{(-0,039)}$; Ra2,5	Розвертання чистове	Калібр-пробка ($\varnothing 32$) двосторонній H8 Взірці шорсткості
16	Камера $\varnothing 40H14$; l=18; Rz80	Однократне розточування	Шаблон спеціальний 18
17	Отвір $\varnothing 40H14$; l=22; Rz80	Однократне розточування	Калібр-пробка ($\varnothing 40$) H14
18	Отвір під різь K1/8" $\varnothing 8,7^{+0,14}$; Rz40	Свердління	Калібр-пробка ($\varnothing 8,7$) спеціальний
19	Фаска внутрішня $1 \times 45^\circ$	Зенкування	Шаблон фасочний 45° спеціальний
20	Різь конічна дюймова K1/8"	Нарізання мітчиком	Калібр-пробка K1/8"
21	Шліцева внутрішня поверхня d8 $\times$ 32H8 $\times$ 38 $\times$ 6D9, Ra20	Протягування	Калібр-пробка для прямобічних шліців

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріалом деталі “Втулка” 34.08.609 є легована конструкційна сталь 20Х, тому під час аналізу способів виготовлення заготовок розглянуто такі два

способи:

- 1) Труба $\frac{60 \times 15 \text{ ГОСТ } 8732 - 70}{20X \text{ ГОСТ } 4543 - 71}$ – трубний прокат марки 20Х

діаметром 60 мм, з товщиною стінки 15 мм, 5 класу точності;

- 2) Штамповка на кривошипному гарячостампувальному пресі.

Для визначення маси заготовки використано формулу:

$$Q = V_3 \cdot \rho, \quad (3.1)$$

де V_3 – об'єм заготовки.

Чисельні дані про припуски і поверхні деталі, що піддаються механічній обробці подано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Втулка” 34.08.609

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1) Труба $\frac{60 \times 15 \text{ ГОСТ } 8732 - 70}{20X \text{ ГОСТ } 4543 - 71}$				
Торцева поверхня $130 \pm 1,25$	Rz80	1,6	6	$136 \pm 0,8$
2) Штамповка на кривошипному гарячостампувальному пресі				
Торцева поверхня $130 \pm 1,25$	Rz80	2,0	$1,3 \times 2 = 2,6$	$132,6^{+1,3}_{-0,7}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 60$	Rz80	1,6	–	$\varnothing 60^{+1,1}_{-0,5}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 46h7$	Ra1,6	1,6	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 49,2^{+1,1}_{-0,5}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 54h14$	Rz80	1,6	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 56,4^{+1,1}_{-0,5}$
Торець $15 \pm 0,2$	Rz80	1,4	1,6	$13,9^{+0,9}_{-0,5}$
Торець $35 \pm 0,3$	Rz80	1,4	1,1	$33,9^{+0,9}_{-0,5}$
Фаска $45^\circ \pm 0,9$	Rz80	1,4	1,1	$5,4^{+0,9}_{-0,5}$

Ескізи варіантів способів виготовлення заготовок корпусу представлено на рис. 3.1, 3.2.

1. Некратність довжини прокату:

$$L_{\text{нк.}} = L_{\text{нк.}} - x \cdot (L_{\text{заг.}} + L_{\text{р.}}), \quad (3.2)$$

де $L_{\text{пр.}}$ – довжина прокату, 6000 мм;

$L_{\text{р.}}$ – ширина канавки при розрізанні, 3 мм [16];

$L_{\text{заг.}}$ – довжина заготовки із припусками на підрізання торців ($2z$); $2z = 6$ мм;

$$L_{\text{заг.}} = L_{\text{дет.}} + 2z = 130 + 6 = 136 \text{ мм.}$$

x – кількість заготовок, що можна виготовити із однієї труби, шт.;

$$x = \frac{L_{\text{пр.}} - L_{\text{т.о.}} - L_{\text{заг.}}}{L_{\text{заг.}} + L_{\text{р.}}}, \quad (3.3)$$

2. $L_{\text{т.о.}}$ – довжини скосу, що утворюється при різанні:

$$L_{\text{т.о.}} = (0,3 \div 0,5) \cdot d = (0,3 \div 0,5) \cdot 60 = 18 \div 30 = 24 \text{ мм.}$$

3. $L_{\text{заг.}}$ – мінімальна довжина частини заготовки для затиску. $L_{\text{заг.}} = 52$ мм при затиску цангою.

Загальна кількість заготовок:

$$x = \frac{6000 - 24 - 52}{136 + 3} = \frac{5924}{139} = 43 \text{ шт.}$$

Некратність довжини прокату:

$$L_{\text{нк.}} = 6000 - 43 \cdot (136 + 3) = 6000 - 5977 = 23 \text{ мм.}$$

Розхід матеріалу на заготовку:

$$Q_{\text{тв.}} = \frac{Q_1 \cdot (100 + B_{\text{заг.}})}{100}, \quad (3.4)$$

де Q_1 – маса заготовки:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4} = \frac{\pi \cdot (60^2 - 30^2) \cdot 136}{4} = 288252 \text{ мм}^3 = 288,252 \text{ см}^3.$$

$$Q_1 = 288,252 \cdot 7,85 = 2262,78 \text{ г} = 2,3 \text{ кг}.$$

Загальні витрати матеріалу (%):

$$B_{\text{заг.}} = B_{\text{нк.}} + B_{\text{т.о.}} + B_{\text{зат.}}, \quad (3.5)$$

$$\text{де } B_{\text{нк.}} = \frac{(L_{\text{нк.}} \cdot 100)}{L_{\text{пр.}}} = \frac{(23 \cdot 100)}{6000} = 0,38\%.$$

$$B_{\text{т.о.}} = \frac{(L_{\text{т.о.}} \cdot 100)}{L_{\text{пр.}}} = \frac{(24 \cdot 100)}{6000} = 0,4\%.$$

$$B_{\text{зат.}} = \frac{(L_{\text{зат.}} \cdot 100)}{L_{\text{пр.}}} = \frac{(52 \cdot 100)}{6000} = 0,87\%.$$

$$\text{Отже, } B_{\text{заг.}} = 0,38 + 0,4 + 0,87 = 1,65\%.$$

$$\text{Тоді, } Q_{\text{тв.}} = \frac{2,3 \cdot (100 + 1,65)}{100} = 2,34 \text{ кг}.$$

Визначаємо об'єм заготовки для другого методу:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 49,2^2 \cdot 15,2}{4} = 28883,08 \text{ мм}^3 = 28,8 \text{ см}^3,$$

$$V_2 = (r^2 + r_1^2 + r \cdot r_1) \cdot \frac{\pi \cdot h}{3} = (30^2 + 24,6^2 + 30 \cdot 24,6) \cdot \frac{\pi \cdot 5,4}{3} = 12678,3 \text{ мм}^3 = 12,68 \text{ см}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 60^2 \cdot 82,2}{4} = 232297,2 \text{ мм}^3 = 232,3 \text{ см}^3,$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot 56,4^2 \cdot 35,2}{4} = 87896,3 \text{ мм}^3 = 87,9 \text{ см}^3,$$

$$V_{\text{заг2}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4.$$

$$V_{\text{заг2}} = 28,8 + 12,68 + 232,3 + 87,9 = 361,68 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу заготовки другого методу:

$$Q_2 = 361,68 \cdot 7,85 = 2839,2 \text{ Г} = 2,84 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.6)$$

– трубний прокат:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,9}{2,34} = 0,81.$$

– штампування на кривошипному гарячоштампувальному пресі:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,9}{2,84} = 0,67.$$

Вибираємо для умов великосерійного типу виробництва а також характеристик поверхонь деталі “Втулка” 34.08.609 спосіб виготовлення заготовки - трубний прокат.

3.3. Формування технологічного процесу

На основі вказаних вище даних проводимо проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Втулка” 34.08.609.

005 Токарна автоматна

1. Підрізати торець 13, витримуючи розмір $133 \pm 1,25$ з нижнього переднього поперечного супорта.
2. Точити зовнішні поверхні 7,8,9,10,11,12 фасонним різцем, витримуючи розміри $\varnothing 54_{-0,74}$; $35 \pm 0,3$; $\varnothing 50_{-0,62}$; $20 \pm 0,2$; R2; $\varnothing 45_{-0,62}$; $10 \pm 0,2$; R5 з нижнього заднього поперечного супорта та зенкувати фаску 14, витримуючи розмір $5 \times 45^\circ$ з поздовжнього супорта одночасно.
3. Зенкерувати отвір 15, витримуючи розміри $\varnothing 31,56^{+0,25}$; $133 \pm 1,25$ з інструментального шпинделя від пристрою з незалежною подачею від кулачків

інструментального барабана.

4. Точити поверхні 2, 3, 4 фасонним різцем, витримуючи розміри $\varnothing 46,8_{-0,62}$; $\angle 15^\circ; 15,4 \pm 0,2$; $\angle 45^\circ$ з верхнього заднього поперечного супорта; розвертати попередньо отвір 15, витримуючи розміри $\varnothing 31,8^{+0,1}$; $133 \pm 1,25$ з інструментального шпинделя від пристрою з незалежною подачею від кулачків інструментального барабана одночасно.

5. Розвертати остаточно отвір 15, витримуючи розміри $\varnothing 32^{+0,039}$; $133 \pm 1,25$ з інструментального шпинделя від пристрою з незалежною подачею від кулачків інструментального барабана.

6. Відрізати деталь, витримуючи розміри $130 \pm 1,25$ з відрізного супорта, подати пруток до упора, закріпити.

Перевірити розміри: $\varnothing 54_{-0,74}$; $35 \pm 0,3$; $\varnothing 50_{-0,62}$; $20 \pm 0,2$; R2; $\varnothing 45_{-0,62}$; $10 \pm 0,2$; R5; $\varnothing 46,8_{-0,62}$; $\angle 15^\circ; 15,4$; $\angle 45^\circ$; $\varnothing 32^{+0,039}$; $133 \pm 1,25$; Ra2,5 Контроль 30%

010 Токарна напівавтоматна

1. Розточити отвір 17, витримуючи розміри $\varnothing 40^{+0,62}$; $22 \pm 0,2$ з поздовжнього супорта.

2. Розточити камеру 16, витримуючи розміри $\varnothing 40^{+0,62}$; $18 \pm 0,2$ з поздовжнього та поперечного супортів одночасно.

3. Точити зовнішню циліндричну поверхню 3, витримуючи розміри $\varnothing 46,4_{-0,1}$; $15,2 \pm 0,2$ з поздовжнього супорта.

Перевірити розміри: $\varnothing 40^{+0,62}$; $22 \pm 0,2$; $18 \pm 0,2$; $\varnothing 46,4_{-0,1}$; $15,2 \pm 0,2$.

Контроль 30%

015. Горизонтально-протяжна

Перехід 2. Протягнути шліцевий отвір 21, витримуючи розміри $d8 \times 32H8 \times 38 \times 6D9 \left(\begin{smallmatrix} +0,860 \\ +0,830 \end{smallmatrix} \right)$, $l=108$.

020. Вертикально-фрезерна

Перехід 2. Фрезерувати паз 6, витримуючи розміри $20^{+0,52}$; $2 \pm 0,1$.

025. Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Свердлити отвір 18 під різь під різь 20, зенкувати фаску 19,

витримуючи розміри $\varnothing 8,7^{+0,14}$; $10 \pm 0,2$; $1 \times 45^\circ$.

Операція 030. Різенарізна

Перехід 2. Нарізати внутрішню різь 20, витримуючи розміри K1/8".

Операція 035. Кругло-шліфувальна

Перехід 2. Шліфувати попередньо поверхню 3, витримуючи розміри $\varnothing 46,1_{-0,52}$; $15 \pm 0,2$.

Перехід 3. Шліфувати остаточно поверхню 3, витримуючи розміри $\varnothing 46_{-0,025}$; $15 \pm 0,2$.

Операція 040. Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Розрахунки припусків проведено аналітичними та табличними методами, оформлено вигляді таблиці 3.4.

Послідовність оброблення поверхні $\varnothing 32H8$ із припусками та допусками представлено на рис. 3.3.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Втулка” 34.08.609

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцеві поверхня $130 \pm 1,25$					
Точіння	14	Rz 40	2,5	$3 \times 2 = 6,0$	$130 \pm 1,25$
Заготовка	5-тий клас	Rz 80	1,6	6,0	$136 \pm 0,8$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 46h7_{(-0,025)}$					
Шліфування чистове	7	Ra 1,6	0,025	$0,05 \times 2 = 0,1$	$\varnothing 46_{-0,025}$

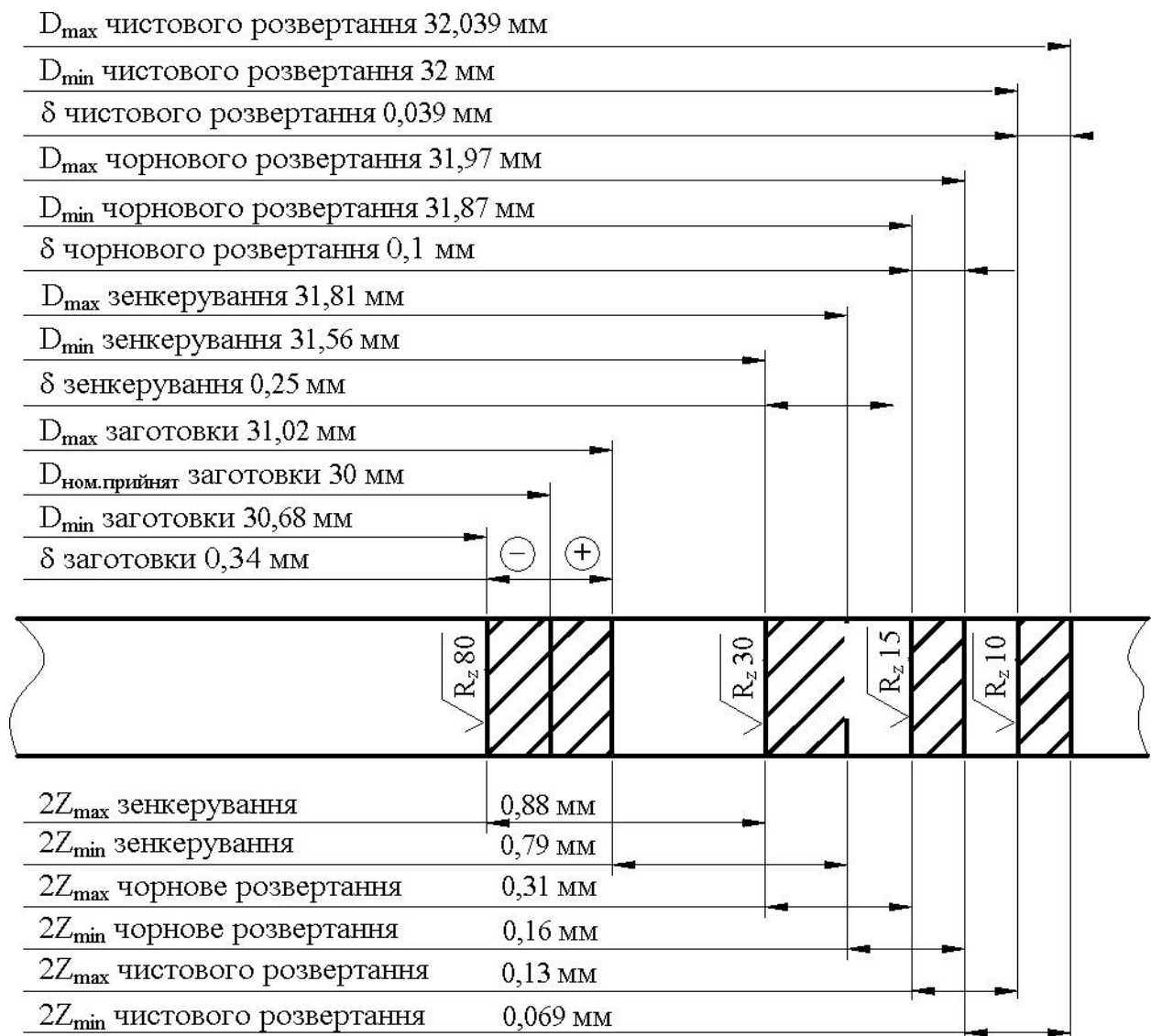


Рисунок 3.3 – Послідовність оброблення поверхні $\varnothing 32H8$ із припусками та допусками

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
Шліфування напівчистове	8	Ra 2,5	0,039	$0,15 \times 2 = 0,3$	$\varnothing 46,1_{-0,039}$
Точіння напівчистове поздовжнє	10	Ra 6,3	0,1	$0,2 \times 2 = 0,4$	$\varnothing 46,4_{-0,1}$
Точіння фасонне поперечне	14	Rz 80	0,62	$6,6 \times 2 = 13,2$	$\varnothing 46,8_{-0,62}$
Заготовка (прокат)	5-тий клас	Rz 80	0,4	$7 \times 2 = 14$	$\varnothing 60_{-0,4}$

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 50h14_{(-0,62)}$					
Точіння фасонне поперечне	14	Rz 80	0,62	—	$\varnothing 50_{-0,62}$
Заготовка (прокат)	5-тий клас	Rz 80	0,4	$5 \times 2 = 10$	$\varnothing 60_{-0,4}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 54h14_{(-0,74)}$					
Точіння фасонне поперечне	14	Rz 80	0,74	—	$\varnothing 54_{-0,74}$
Заготовка (прокат)	5-тий клас	Rz 80	0,4	$3 \times 2 = 6$	$\varnothing 60_{-0,4}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45h14_{(-0,62)}$, R5					
Точіння фасонне поперечне	14	Rz 80	0,62	—	$\varnothing 54_{-0,74}$
Заготовка (прокат)	5-тий клас	Rz 80	0,4	$7,5 \times 2 = 15$	$\varnothing 60_{-0,4}$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 40H14^{(+0,62)}$					
Точіння однократне поздовжнє	14	Rz 80	0,62	—	$\varnothing 40^{+0,62}$
Заготовка (попередньо оброблена поверхня)	8	Ra 2,5	0,039	$4 \times 2 = 8$	$\varnothing 32_{-0,039}$

3.5. Визначення режимів різання

Розрахунки режимів різання технологічного процесу виготовлення деталі “Втулка” 34.08.609 проведено аналітичними та табличними методами, оформлено вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі
“Втулка” 34.08.609

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _м , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарна автоматна										
Позиція 1 Підрізати торець 13, витримуючи розмір 133±1,25 з нижнього переднього поперечного супорта	3	18	1	125	0,079	253	47,46	—	0,91	0,51
Позиція 2 Точити зовнішні поверхні 7,8,9,10,11,12 фасонним різцем, витримуючи розміри Ø54 _{-0,74} ; 35±0,3; Ø50 _{-0,62} ; 20±0,2; R2; Ø45 _{-0,62} ; 10±0,2; R5 з нижнього заднього поперечного супорта та зенкувати фаску 14, витримуючи розмір 5×45° з поздовжнього супорта одночасно	7,5	11,5	1	98	0,05	251	35,7	—	0,91	0,75
	5	12	1	62,5	0,053	253	31,67	—	0,91	0,81
Позиція 3 Зенкерувати отвір 15, витримуючи розміри Ø31,56 ^{+0,25} ; 133±1,25 з інструментального шпинделя	0,78	133	1	150	0,6	251	26	—	0,91	0,46
Позиція 4 Точити поверхні 2, 3, 4 фасонним різцем, витри- муючи розміри Ø46,8 _{-0,62} ; ∠15°; 15,4±0,2; ∠45°	7,5	11,5	1	98	0,05	253	35,7	—	0,91	0,41

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
з верхнього заднього поперечного супорта; розвертати попередньо отвір 15, витримуючи розміри $\varnothing 31,8^{+0,1}$; $133 \pm 1,25$ з інструментального шпинделя одночасно	0,1 55	133	1	—	1,0	253	25,3	—	0,91	0,11
Позиція 5										
Розвертати остаточно отвір 15, витримуючи розміри $\varnothing 32^{+0,039}$; $133 \pm 1,25$ з інструментального шпинделя від пристрою з незалежною подачею від кулачків інструментального барабана	0,065	133	1	—	0,8	253	25,4	—	0,91	0,05
Позиція 6 Відрізати деталь, витримуючи розміри $130 \pm 1,25$ з відрізного супорта	3	12	1	94	0,053	253	35,7	—	0,91	0,05
010 Токарна напівавтоматна										
Позиція 2 Розточити отвір 17, витримуючи розміри $\varnothing 40^{+0,62}$; $22 \pm 0,2$ з поздовжнього супорта	4	31	1	106	0,43	218	27,27	—	0,34	0,71
Позиція 3 Розточити камеру 16, витримуючи розміри $\varnothing 40^{+0,62}$; $18 \pm 0,2$ з поздовжнього та поперечного супортів одночасно	4	28	1	140	0,38	218	27,27	—	0,34	0,71
Позиція 4 Точити зовнішню циліндричну поверхню 3, витримуючи розміри $\varnothing 46,4_{-0,1}$; $15,2 \pm 0,2$ з поздовжнього супорта	0,2	16	1	140	0,22	218	31,7	—	0,34	0,19

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
015 Горизонтально-протяжна										
Протягнути шліцевий отвір 21, витримуючи розміри $l=108$ $d8 \times 32H8 \times 38 \times 6D9 \begin{smallmatrix} (+0,860 \\ +0,830) \end{smallmatrix}$	2,9	465	1	45	0,07	—	5	—	0,117	1,91
020 Вертикально-фрезерна										
Фрезерувати паз 6, витримуючи розміри $20^{+0,52}$; $2 \pm 0,1$	2	50	1	60	S_z мм/зуб 0,07	401	26	114	0,126	0,71
025 Вертикально-свердлильна										
Свердлити отвір 18 під різь під різь 20, зенкувати фаску 19, витримуючи розміри $\varnothing 8,7^{+0,14}$; $10 \pm 0,2$; $1 \times 45^\circ$	4,35	15	1	20	0,2	711	19,5	—	0,11	1,21
030 Різенарізна										
Перехід 2 Нарізати внутрішню різь 20, витримуючи розміри $K1/8''$	0,3765	22	1	—	0,941	259	8,11	244	0,11	—
035 Круглошліфувальна										
Перехід 1 Шліфувати попередньо поверхню 3, витримуючи розміри $\varnothing 46,1_{-0,52}$; $15 \pm 0,2$	0,15	55	1	—	$S_x = 0,005$ мм/хід $S_o = 16$ мм/об	243	4	—	0,52	3,21
Перехід 2 Шліфувати остаточно поверхню 3, витримуючи розміри $\varnothing 46_{-0,025}$; $15 \pm 0,2$	0,05	55	1	—	$S_x = 0,005$ мм/хід $S_o = 16$ мм/об	243	4	—	0,21	1,39

Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Втулка” 34.08.609 проведено аналітичними та табличними методами, оформлено вигляді таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).

Таблиця 3.6 – Норми часу механічної обробки деталі “Втулка” 34.08.609

Номер та назва операції	T _о , хв	T _ш , хв	T _{в.з} , хв	Опера- тивний час, T _{оп} , хв	Час обслуго- вування, T _{об} , хв		T _{відп} , хв	T _{шт} , хв	n, шт	T _{п.з.} , хв	T _{шт.к} , хв
					T _{тех.об.}	T _{орг.об.}					
005 Токарна автоматна	0,9	0,058	0,064	0,958	0,018	0,023	0,057	1,12	1214	28	1,14
010 Токарна напів-автоматна	0,33	0,058	0,064	0,488	0,0066	0,014	0,03	0,54		53	0,58
015 Горизонталь-но-протяжна	0,116	—	—	—	—	—	—	—		—	0,91
020 Вертикально-фрезерна	0,125	—	—	—	—	—	—	—		—	0,19
025 Вертикально-свердлильна	0,1	—	—	—	—	—	—	—		—	0,172
030 Різенарізна	0,1	—	—	—	—	—	—	—		—	0,175
035 Кругло-шліфувальна	0,71	—	—	—	—	—	—	—		—	1,5

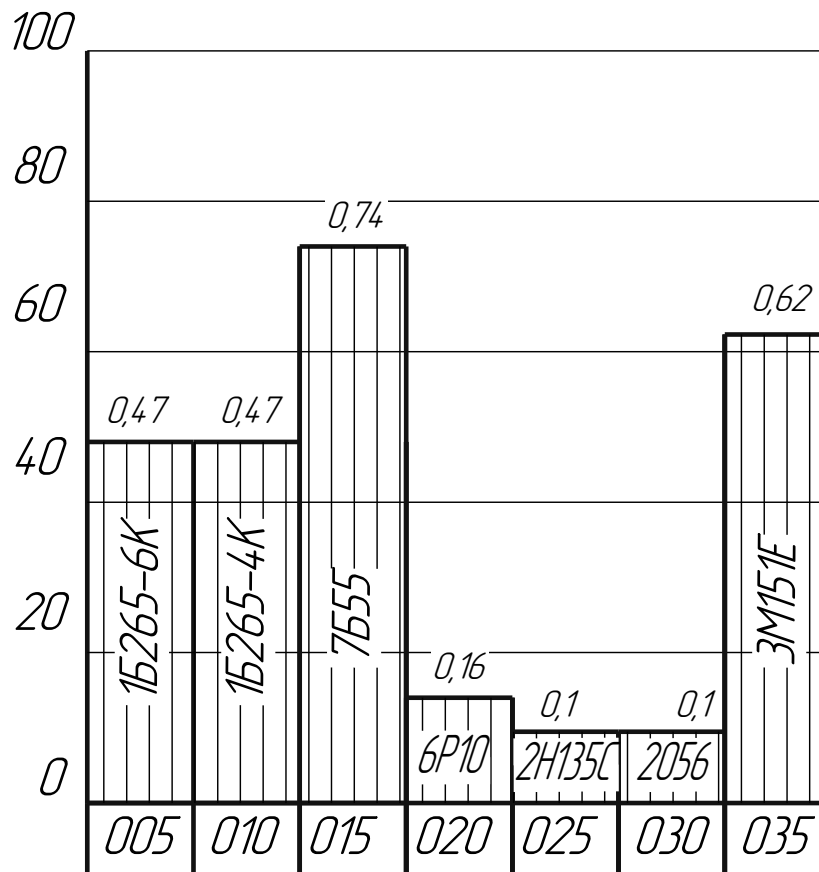


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

3.6. Розрахунок пристосування

Для обробки деталі “Втулка” 34.08.609 на 020 вертикально-фрезерній операції (фрезерування паза, витримуючи розміри $20^{+0,52}$; $2\pm 0,1$) на вертикально-фрезерному верстаті мод. 6P10 розроблено спеціальний пристрій двохмісний. Базування заготовки здійснюється по внутрішній шліцьовій поверхні $d8\times 32H8\times 38\times 6D9$ та по торцю $130\pm 1,25$ мм на шліцьову оправку 14, центрування деталі виконується конусом 15.

Затиск деталі в кондукторі відбувається від тиску пневмосистеми переміщенням поршня 2 із штоком 5 вліво. Останній через штовхач 8 повертає важіль 9 навколо вісі 28, при цьому важіль переміщує через коромисло 18 штовхачі 16 із конусами 15, тим самим закріплюючи та центруючи деталь в пристрої.

Креслення пристрою представлено у графічній частині роботи.

Похибку установки заготовки у пристрої визначено за відомою формулою [11]:

$$\Delta \epsilon_y = \sqrt{\Delta \epsilon_6^2 + \Delta \epsilon_3^2 + \Delta \epsilon_{\text{пр}}^2} . \quad (3.7)$$

Точність діаметрального розміру $20^{+0,52}$ забезпечується фрезою.

На рисунку 3.4 представлено схему для розрахунку похибки базування деталі.

Похибка базування [11]:

$$\Delta \epsilon_6 = S_{\text{max}} , \quad (3.8)$$

де S_{max} – максимальний зазор між оправкою та поверхнею шліцевого отвору.

Максимальний зазор між оправкою та поверхнею шліцевого отвору:

$$S_{\text{max}} = D_{\text{max.d.}} - d_{\text{min.w}} , \quad (3.9)$$

де $D_{\text{max.d.}}$ – максимальний розмір шліцевого отвору, мм;

$d_{\min.w}$ – мінімальний розмір шліцевої оправки, мм.

$$D_{\max.d.} = D_{\text{nom.d.}} + ES_d \quad (3.10)$$

де $D_{\text{nom.d.}}$ – номінальний розмір шліцевого отвору, мм;

ES_d – верхнє відхилення шліцевого отвору деталі, мм.

$$d_{\min.w} = d_{\text{nom.w}} + ei_w, \quad (3.11)$$

де $d_{\text{nom.w}}$ – номінальний розмір шліцевої оправки, мм;

ei_w – нижнє відхилення розміру шліцевої оправки, мм.

Базуючий шліцевий отвір деталі $\varnothing 32H8(+0,039)$.

Базуючий діаметр шліцевої оправки – $\varnothing 32f7\left(\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix}\right)$,

Визначаємо максимальний зазор:

$$D_{\max.d.} = 32 + 0,039 = 32,039 \text{ мм.}$$

$$d_{\min.w} = 32 + (-0,05) = 31,95 \text{ мм.}$$

$$S_{\max.} = 32,039 - 31,95 = 0,089 \text{ мм.}$$

Тоді, похибка базування дорівнює:

$$\Delta \varepsilon_{\text{бр.}} = 0,089 \text{ мм.}$$

Похибка закріплення заготовки складе $\Delta \varepsilon_3 = 70 \text{ мкм.}$

Похибка пристосування $\Delta \varepsilon_{\text{пр}} = 120 \text{ мкм.}$

Підставляємо дані у формулу (3.7) та одержуємо:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{89^2 + 70^2 + 120^2} = 165 \text{ мкм.} = 0,165 \text{ мм.}$$

Визначення сили затиску заготовки проведено при фрезеруванні

зовнішньої лиски глибиною $2 \pm 0,125 \text{ мм}$ та шириною $20^{+0,52} \text{ мм}$ на 020 вертикально-фрезерній операції.

Розрахункова схема спеціального пристрою для базування та закріплення заготовки подана на рисунку 3.5.

Відповідно до розрахункової схеми рис. 3.5 записуємо рівняння рівноваги силових факторів:

$$KM_{\text{різ}} = \sum M_{\text{тр}}, \quad (3.12)$$

де $M_{\text{різ}}$ – момент різання фрезою;

$M_{\text{тр}}$ - момент тертя при затиску деталі.

Момент різання фрезою:

$$M_{\text{різ}} = P_z \cdot R_3, \quad (3.13)$$

де P_z – сила різання;

$R_3 = 28 \text{ мм}$ – радіус фрезерування.

Момент тертя при затиску деталі:

$$\sum M_{\text{тр}} = Q \cdot R \cdot f_1 + \frac{2Qf_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (3.14)$$

де Q – сила затиску;

$f_1 = 0,2$;

$f_2 = 0,2$;

$R_1 = 20 \text{ мм}$;

$R_2 = 23 \text{ мм}$;

$R = 20 \text{ мм}$.

Із рівняння (3.4) одержуємо:

$$Q = \frac{K \cdot P_z \cdot R_3}{f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^3 - R_1^3)}}. \quad (3.15)$$

Сила різання при фрезеруванні лиски [16]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, \quad (3.16)$$

$$\text{де } K_{mp} = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,3} = 0,9 \text{ [16];}$$

$$C_p = 12,5; x = 0,85; y = 0,75; n = 1,0; q = 0,73; w = -0,13 \text{ [16];}$$

$$t = 2 \text{ мм;}$$

$$S_z = 0,07 \text{ мм/зуб;}$$

$$B = 20 \text{ мм;}$$

$$z = 4;$$

$$D = 20 \text{ мм;}$$

$$n = 400 \text{ хв}^{-1};$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 2^{0,85} \cdot 0,07^{0,75} \cdot 2^{1,0} \cdot 4}{20^{0,73} \cdot 400^{-0,13}} \cdot 0,9 = 495 \text{ Н.}$$

$$K = 3,12.$$

Підставляємо дані у формулу (3.15):

$$Q = \frac{3,12 \cdot 495 \cdot 28}{0,2 \cdot 20 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{23^3 - 20^3}{3 \cdot (23^2 - 20^2)}} = 5207 \text{ Н.}$$

Сила штовхання на штоці пневмоциліндра [11]:

$$F = 0,785 \cdot (D_{ц}^2 - d_{шт}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.17)$$

$$F_{шт} = 0,785 \cdot (0,14^2 - 0,022^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 5402 \text{ Н.}$$

Сила затиску заготовки від пневмоциліндра через важільний механізм [11]:

$$W = F_{\text{шт}} \frac{l_1}{l_2}, \quad (3.12)$$

де $l_1 = 83$ мм; $l_2 = 80$ мм.

$$\text{Тоді } W = 5402 \frac{83}{80} = 5604 \text{ Н.}$$

При умові $W = 5604 \text{ Н} > Q = 5207 \text{ Н}$, забезпечено вимогу надійного закріплення заготовки на 020 операції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Вимоги до вентиляції виробничих приміщень

Системи вентиляції і кондиціонування повітря повинні відповідати протипожежним вимогам будівельних норм. Залежно від умов виробництва на об'єктах повинні бути встановлені терміни проведення профілактичних оглядів та очищення повітроводів, фільтрів, вогнезатримуючих клапанів, іншого обладнання вентиляційних систем, а також визначений порядок відключення вентиляційних систем і дій обслуговуючого персоналу у разі виникнення пожежі або аварії.

Особа, призначена відповідальною за технічний стан та справність вентиляційних систем, зобов'язана забезпечити додержання вимог пожежної безпеки під час їх експлуатації.

Не допускається робота технологічного обладнання у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних приміщеннях у разі несправних або відключених гідрофільтрів, сухих фільтрів, пиловідсмоктуючих, пиловловлюючих та інших пристроїв систем вентиляції.

У тамбур-шлюзах при приміщеннях категорій А і Б, в яких виділяються вибухонебезпечні пари, гази та пил, слід постійно (на весь період роботи, зберігання товарів, речовин) забезпечувати необхідний підпір повітря. Вентиляційне обладнання, що забезпечує підпір в тамбур-шлюзи при приміщеннях категорій А і Б, має розміщуватися в приміщеннях для вентиляційного обладнання, відокремлених від сусідніх приміщень і коридорів протипожежними стінами з межею вогнестійкості 0,75 години.

Повітря, яке містить горючий пил або горючі відходи, повинно очищуватися до надходження у вентилятор. Для цього перед ним слід встановлювати каменевловлювачі, а для вилучення металевих предметів магнітні вловлювачі.

Повітроводи, якими переміщаються вибухо- пожежонебезпечні гази, пари і пил, не допускається розміщати в підвальних приміщеннях та в каналах під підлогою.

Усередині повітроводів та на їх стінках не дозволяється розміщати газопроводи і трубопроводи з горючими речовинами, кабелі, електропроводку й каналізаційні трубопроводи; не дозволяється також перетинання повітроводів цими комунікаціями.

Матеріали, з яких виготовляються повітроводи, мають відповідати

вимогам будівельних норм. Виготовлення повітроводів із азбестоцементних матеріалів забороняється.

Усі металеві повітроводи, трубопроводи, фільтри та інше обладнання витяжних установок, що транспортують горючі та вибухонебезпечні речовини, повинні бути заземлені та захищені від статичної електрики.

Вентиляційні камери, циклони, фільтри, повітроводи повинні регулярно очищатися від горючого пилу, відходів виробництва, жирових відкладень пожежобезпечними засобами. Перевірка й очищення вентиляційного обладнання повинні проводитися за графіком, затвердженим адміністрацією об'єкта. Результати огляду обов'язково заносяться до спеціального журналу.

Для відвернення засмічування території підприємства горючими відходами бункери під циклонами повинні мати суцільну огорожу з негорючого матеріалу з воротами, які зачиняються. В інструкції щодо заходів пожежної безпеки підприємства необхідно визначити максимально допустиму кількість відходів у бункерах, порядок та періодичність їх очищення.

Витяжні повітроводи, якими транспортуються горючі та вибухонебезпечні речовини (пил, волокна тощо), повинні мати пристрої для очищення (люки, розбірні з'єднання тощо).

При встановленні вибухозахищених вентиляторів поза приміщеннями для них слід влаштовувати спеціальне укриття з негорючих матеріалів, як правило, у вигляді металевих навісів і сітчастого огородження, що замикається на замок.

Вогнезатримні пристрої, магнітні вловлювачі у вентиляційних повітроводах, пристрої блокування вентиляційних систем з пожежною сигналізацією та системами пожежогасіння, а також автоматичні пристрої відключення вентиляції у разі пожежі повинні перевірятися у встановлені адміністрацією підприємства терміни, але не рідше одного разу на півроку, та утримуватися у справному робочому стані.

Під час експлуатації вентиляційних систем забороняється: відключати або знімати вогнезатримні пристрої; випалювати накопичені в повітроводах, зонтах жирові відкладення та інші горючі речовини; закривати витяжні канали, отвори й решітки; залишати двері вентиляційних камер відчиненими, зберігати в камерах різні матеріали, устаткування тощо; використовувати припливно-витяжні повітроводи й канали для відведення газів від приладів опалення, газових колонок, кип'ятильників та інших нагрівальних приладів; складувати впритул (на відстані менше 0,5 м) до повітроводів і устаткування горючі матеріали або негорючі матеріали в горючій упаковці; видаляти за допомогою тієї самої системи відсосів різні гази, пар, пил та інші речовини, котрі при

змішуванні можуть викликати спалахи, горіння або вибух; експлуатувати переповнені циклони.

4.2. Заходи щодо підвищення стійкості систем енергопостачання водопостачання підприємства

Найбільш вразливими елементами систем енергопостачання є повітряні лінії електропередач, будівлі і споруди трансформаторних станцій та розподільчих пунктів [31]. У разі руйнування будівель можливими є обриви проводів у середині приміщень, що при збереженні кабельних мереж призведе до короткого замикання, а ті в свою чергу можуть призвести до пожеж. Для забезпечення надійного електропостачання в умовах надзвичайних ситуацій (НС) при його проектуванні і будівництві також повинні враховуватися вимоги цивільного захисту (ЦЗ). Електропостачання повинно здійснюватися від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі електростанції потрібно розміщувати на значних відстанях одна від одної і від великих міст поза зоною можливих руйнувань. Районні понижувальні станції, диспетчерські пункти та лінії електропередач необхідно розміщувати розосереджено і вони повинні бути надійно захищені.

Постачання об'єктів промисловості, що продовжують роботу під час НС мирного часу та в особливий період, потрібно передбачати від двох незалежних і територіально розмежованих джерел. При електропостачанні від одного джерела повинно бути не менш двох введів з різних напрямів. Це значно підвищить надійність електропостачання, оскільки одночасний вихід з ладу двох ліній подачі електроенергії (у разі кільцювання мережі) є менш імовірним. Також доцільним є заміна повітряних ліній на підземні кабельні. Трансформаторні підстанції повинні бути надійно захищені і їх стійкість повинна бути не нижче за стійкість самого об'єкта. Електроенергію до ділянок виробництва потрібно подавати по незалежних електрокабелях, прокладених в землі на глибині 0,8...1,2 м. Для стійкого постачання об'єктів енергією необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання (пересувні ДЕС на залізничних або автомобільних платформах). Особливо це

стосується забезпечення електроенергією цехів з безперервним технологічним циклом, водопровідних і каналізаційних станцій, котелень, медичних та інших закладів. Система електропостачання повинна бути надійно захищена від дії удару блискавки (грозового розряду) та електромагнітного імпульсу ядерного вибуху.

Нормальна робота більшості підприємств залежить від безперебійного постачання технічною і питною водою. Потреба промислових підприємств у воді досить висока. Так, для отримання 1 т хімічних волокон потрібно біля 2000 м³ води. Порухення постачання промислових об'єктів водою може призвести до їх зупинки і викликати ускладнення в проведенні робіт щодо ліквідації наслідків НС. Для підвищення стійкості постачання об'єктів водою необхідно, щоб система водопостачання базувалася не менш ніж на двох незалежних джерелах води, одне з яких повинне бути підземним. На випадок виходу з ладу системи водопостачання створюється запас питної води на 3 доби з розрахунку 10 л на добу на одну людину. На об'єкті господарювання мережі водопостачання повинні бути закріплені. Водопровідне кільце об'єкта треба підключати до двох різних міських магістралей, а також до підземних і відкритих джерел. Артезіанські свердловини, резервуари чистої води і шахтні колодязі повинні бути пристосовані для роздачі води в пересувну тару. Резервуари для зберігання і роздачі питної води повинні бути обладнані герметичними люками та системою вентиляції для очищення повітря від пилу, радіоактивних речовин (РР), крапельно-рідинних отруйних речовин (ОР) та пристроями для роздавання води у переносну тару. Стійкість мереж водопостачання підвищується при заглибленні в ґрунт всіх ліній водопроводу і розміщенні пожежних гідрантів та вимикаючих пристроїв на території, яка не може бути завалена при руйнуванні будівель, а також при влаштуванні перемичок, що дозволяють відключати пошкоджені лінії і споруди. Стійкість роботи системи водопостачання полягає в тому, щоб за будь-яких умов забезпечити подачу необхідної кількості води навіть у разі руйнування її окремих елементів. З цією метою комунікації насосних станцій, головних, очисних та інших споруд обладнуються великою кількістю вимикаючих і

перемикаючих пристроїв, що забезпечують подачу води насосами в будь-який напірний трубопровід, обминаючи пошкоджені споруди і трубопроводи. У разі пошкодження електромережі, що живить занурювальні і глибинні насоси в бурильних свердловинах, можуть застосовуватися ерліфти, виготовлені безпосередньо на підприємстві. На підприємствах також потрібно передбачати очищення і оборотне використання води для технічних цілей, це зменшить потребу у воді і підвищить стійкість водопостачання. Одним із способів підвищення стійкості водопостачання об'єктів для виробничих потреб є будівництво на відкритих джерелах самостійних водозаборів. Звідси вода може подаватися безпосередньо в мережу підприємства.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено схему використання методу ковзаючого вигладжування роликом циліндричної поверхні на токарному верстаті.

Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану оправки із роликом при дії радіальної та тангенціальної сили вигладжування.

Визначено, що при зовнішньому радіальному навантаженні 200 Н та тангенціальному навантаженні 100 Н під кутом 30 градусів максимальні напруження виникають на ролику у місці контакту із заготовкою а також на осі обертання ролика і становлять 71 МПа та 146 МПа відповідно. Найбільші деформації виникають на ролику у місці контакту із заготовкою та на консольній частині оправки і становлять 0,012 мм та 0,0026 мм відповідно.

Одержані величини не перевищують границю текучості матеріалів оправки, осі обертання та ролика і не суттєво не впливають на точність оброблення заготовки.

Встановлено, що величини напружень та деформацій у ролику у місці контакту із заготовкою, на осі обертання ролика та на консольній частині оправки прямопропорційно залежать від величини зовнішньої радіальної сили вигладжування. Мінімальна величина напружень у ролику у місці контакту із заготовкою дорівнює 35 МПа, а максимальна – 250 МПа. Мінімальна величина напружень на осі обертання ролика дорівнює 73 МПа, а максимальна – 437 МПа. Мінімальна величина деформації ролика у місці контакту із заготовкою дорівнює 0,0058 мм, а максимальна – 0,035 мм. Мінімальна величина деформації консольної частини оправки дорівнює 0,0015 мм, а максимальна – 0,0093 мм.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості циліндричної поверхні після вигладжування роликом. Визначено, що найбільший вплив на шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування

роликом має подача S ролика із оправкою. Менший вплив має кут α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки і найменший - сила вигладжування F . При збільшенні сили вигладжування F , кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки шорсткість Ra поверхні заготовки після вигладжування зменшується, а при збільшенні подачі S ролика із оправкою – зростає.

Максимальне значення шорсткості Ra поверхні заготовки після вигладжування роликом становить 0,30 мкм, а мінімальне – 0,1 мкм. Збільшення сили вигладжування F від 100 Н до 400 мм призводить до зменшення шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,09 рази. подачі S ролика із оправкою від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,56 рази, а збільшення кута α розміщення осі обертання ролика відносно осі заготовки від 0 град до 30 град призводить до зменшення шорсткості поверхні заготовки після вигладжування в 1,35 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення втулки 34.08.609.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Пилипець М.І., Комар Р.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Тернопіль, 2019. 58 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Частина І. Розробка креслення та технології виготовлення литої заготовки. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 71 с.
6. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
7. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
8. Розмірні ланцюги: навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
9. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисциплін “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин ” та “Технологія машинобудування” для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” і 133 “Галузеве машинобудування” на тему “Структура технологічного процесу. Принципи побудови технологічних операцій” / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 53 с.

11. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
12. Catalogue, E. Tools and Solutions for Metal Surface Improvement; Ecoroll Corporation Tool Technology: Milford, OH, USA, 2006.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : Навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
15. Maximov, J., Duncheva, G., Anchev, A., Dunchev, V., Anastasov, K., Daskalova, P. Effect of Roller Burnishing and Slide Roller Burnishing on Surface Integrity of AISI 316 Steel: Theoretical and Experimental Comparative Analysis. *Machines* 2024. 12. 51.
16. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
17. Стаднійчук М.В., Федоревич В.М., Бегман Є.П. Дослідження динаміки різання циліндричної заготовки дисковою фрезою. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 11-12 грудня 2024 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. С. 148.
18. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., Anchev, A.P., Dunchev, V.P. Slide burnishing versus deep rolling—A comparative analysis. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2020. 110. P. 1923–1939.
19. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021. Springer, Cham.* P. 385-394.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

21. Andriy Diachun, Vasyl Vasykiv, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovaty, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2021. № 1(101). С. 68–78.

22. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ivan Kuchvara, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. The International Journal of Integrated Engineering. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office, 2021. Vol. 13 No. 4. P. 142-151.

23. Maximov, J.T., Duncheva, G.V., Anchev, A.P., Dunchev, V.P., Argirov, Y.B. Effect of Diamond Burnishing on Fatigue Behaviour of AISI 304 Chromium-Nickel Austenitic Stainless Steel. Materials 2022. 15. 4768.

24. Prevey, P.S. Burnishing Method and Apparatus for Providing a Layer of Compressive Residual Stress in the Surface of a Workpiece. U.S. Patent 5826453, 27 October 1998.

25. Prevey, P.S. The effect of cold work on the thermal stability of residual compression in surface enhanced IN718. In Proceedings of the 20th ASM Materials Solutions Conference & Exposition, St. Louis, MO, USA, 10–12 October 2000.

26. Tugay, I.O., Hosseinzadeh, A., Yapici, G.G. Hardness and wear resistance of roller burnished 316L stainless steel. Mater. Today Proc. 2021. 47. P. 2405–2409.

27. Gharbi, K., Ben Moussa, N., Ben Rhouma, A., Ben Fredj, N. Improvement of the corrosion behavior of AISI 304L stainless steel by deep rolling treatment under cryogenic cooling. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2021. 117. P. 3841–3857.

28. Duncheva, G., Maximov, J., Anchev, A.; Dunchev, V., Anastasov, K., Argirov, Y. Effect of Roller Burnishing and Slide Roller Burnishing on Fatigue Strength of AISI 304 Steel: Comparative Analysis. Metals. 2024. 14. 710.

29. <https://biemh.bilbaoexhibitioncentre.com/en/exhibitor/INTEGI-SA/product/ROLLER-BURNISHING-TOOL-HBU-42/30485/?idioma=US>

30. <https://cogsdill.co.uk/products/burnishing-tools/universal-burnishing-tools/>

31. Стручок В.С. “Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль, 2022. 150 с.