

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення корпусу 737186.140 з  
дослідженням процесу розкочування внутрішніх канавок

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

(шифр і назва спеціальності)

|                   |          |                        |
|-------------------|----------|------------------------|
|                   | <hr/>    | Свистун П.А.           |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Керівник          | <hr/>    | Дячун А.Є.             |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Нормоконтроль     | <hr/>    | Ткаченко І.Г.          |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Завідувач кафедри | <hr/>    | Окіпний І.Б.           |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Рецензент         | <hr/>    |                        |
|                   | (підпис) | (прізвище та ініціали) |

Тернопіль  
2024

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 737186.140 з дослідженням процесу розкочування внутрішніх канавок”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами. Розроблено спеціальний інструмент для розкочування внутрішніх канавок роликами. Встановлено взаємозв'язок конструктивних параметрів процесу розкочування внутрішніх канавок із його силовими параметрами.

Розглянуто узагальнений випадок, коли радіус при вершині ролика є більшим за радіус попередньо розточеної канавки, при цьому центр радіусної поверхні при вершині ролика зміщений відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки на величину. Знайдено залежність товщини деформованого шару металу на поверхні канавки від геометричних параметрів ролика та канавки, побудовано відповідні графіки.

Виведено рівняння для знаходження площі зони деформації, сили та крутного моменту розкочування канавки. Побудовано графіки залежності цих величин від параметрів процесу розкочування.

Представлено результати експериментальних досліджень крутного моменту розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із двома роликами, що дозволяє визначати силові параметри а також потужність поверхневого пластичного деформування канавки роликами. Вказані параметри можна використовувати при проектуванні інструментів та технологічних процесів із вибором обладнання.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 737186.140.

## **ЗМІСТ**

|                                                                                                                                         |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Вступ .....</b>                                                                                                                      |  |
| <b>1 Аналітична частина</b>                                                                                                             |  |
| 1.1. Аналіз стану питання.....                                                                                                          |  |
| 1.2. Висновки та постановка завдань.....                                                                                                |  |
| <b>2 Науково-дослідна частина</b>                                                                                                       |  |
| 2.1. Дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами.....                                      |  |
| 2.2. Результати експериментальних досліджень крутного моменту розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами..... |  |
| 2.3. Висновки.....                                                                                                                      |  |
| <b>3 Технологічно-конструкторська частина</b>                                                                                           |  |
| 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.....                                                                                                      |  |
| <b>4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>                                                                             |  |
| Висновки.....                                                                                                                           |  |
| Перелік посилань.....                                                                                                                   |  |
| Додатки                                                                                                                                 |  |

## ВСТУП

Внутрішні канавки на циліндричних поверхнях широко використовуються у багатьох конструкціях деталей машин, зокрема для встановлення елементів ущільнення, герметизації, стопоріння елементів вузлів. Процес їх виготовлення включає розточування з подальшим покращенням властивостей поверхневого шару. Широкого застосування набули канавки із радіусною поверхнею, які дозволяють зменшити концентратори напружень, порівняно із звичайними прямокутними внутрішніми канавками. Серед способів покращення властивостей поверхневого шару радіусної канавки є використання методів поверхневого пластичного деформування, зокрема розкочування роликami або кульками, які дозволяють сформувати на обробленій поверхні залишкові напруження стиску, що запобігають створенню тріщин при втомних навантаженнях.

Процес розкочування можна застосовувати для заготовок із різноманітних матеріалів: сталей, алюмінієвих сплавів, титанових сплавів, мідних сплавів. Багато досліджень процесу вигладжування сфокусовані на розкочуванні кульками через такі переваги процесу як гнучкість, низька вартість, простота оброблення.

Тому подальші дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок є актуальними.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 737186.140.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання

Для забезпечення найкращих показників якості та довговічності деталей машин потрібно виконувати ряд технічних вимог щодо забезпечення геометричної точності та шорсткості поверхонь. Шорсткість поверхні має вплив на такі функціональні характеристики як зносостійкість, стійкість до корозій, втомна міцність, втрати через тертя. Широко розповсюджені процеси механічної обробки – прецизійна токарна обробка, розвертання, фрезерування, шліфування не завжди можуть забезпечити необхідні показники якості поверхні. Підвищення якості поверхні можна одержувати такими процесами як хонінгування, супер фініш, притирання, вигладжування, розкочування.

В процесі розкочування робоча частина інструмента у вигляді ролика або кульки перекочується поверхнею заготовки із попереднім навантаженням, в результаті чого виникають контактні напруження. Вказані напруження перевищують границю текучості матеріалу заготовки, що призводить до пластичної деформації поверхневого шару обробленої поверхні. При цьому виступи профілю шорсткості поверхні зміщуються у впадини, в результаті чого зменшується шорсткість такої поверхні. Цей метод також використовується для формування поверхневих шарів підвищеної твердості в результаті виникнення явища наклепу. Поверхневий шар заготовки після пластичної деформації набуває змінні характеристики, зокрема поверхневі напруження, одержані після механічної обробки, трансформуються у напруження стиску. Глибина проникнення напружень стиску а також товщина зміцненого шару залежить від матеріалу заготовки та прикладених навантажень. Напруження стиску зменшуються в напрямку внутрішніх шарів заготовки [12, 15]. Процес розкочування можна застосовувати для заготовок із різноманітних матеріалів: сталей, алюмінієвих сплавів, титанових сплавів, мідних сплавів. Багато

досліджень процесу вигладжування сфокусовані на розкочуванні кульками через такі переваги процесу як гнучкість, низька вартість, простота оброблення.

У роботі El-Axir [18] досліджено взаємозв'язок між втомною міцністю, надлишковими напруженнями поверхні заготовки та параметрами процесу її розкочування. У роботі представлено результати експериментальних досліджень впливу параметрів розкочування: швидкість обробки, прикладена зусилля, подача на надлишкові напруження та втомну міцність алюмінієвого сплаву 6061-T6.

У роботі Bougharriou [19] представлено аналітичне дослідження та моделювання методом кінцевих елементів з метою вивчення процесу розкочування поверхні заготовки із сталі AISI 1042. Моделювання присвячені вивченню профілю та шорсткості поверхні та розподілу залишкових напружень.

У роботі Mohammadi [21] розроблено комп'ютерну модель процесу розкочування матеріалів із низькою пластичністю. Для цього за допомогою методу кінцевих елементів досліджено вплив основних параметрів процесу: діаметр кульок, сила розкочування, подача, кількість переходів на профіль розподілу надлишкових напружень та пластичної деформації поверхні. Для точного опису досліджуваних параметрів використано методологію поверхонь відгуку з одержанням відповідних рівнянь регресій.

У роботі Sayahi [22] представлено двохмірне та трьохмірне моделювання методом кінцевих елементів процесу розкочування кульками, при цьому враховувалось пружно-пластичне деформування матеріалу заготовки. Перевірялась здатність запропонованих моделей прогнозувати величину надлишкових напружень на поверхні заготовки після розкочування. Встановлено, що трьохмірне моделювання дозволяє прогнозувати розподіл надлишкових напружень а також одержувати корисну інформацію, що пов'язана із впливом параметрів розкочування поверхні.

Метою комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень у роботі [23] було визначити поле розподілу напружень у поверхневих шарах

заготовки після процесу розкочування поверхні отвору, встановлення частки пружних деформацій від загальної деформації і параметрів точності оброблених отворів.

На основі проведених 20 цифрових експериментів на розробленій комп'ютерній моделі рис. 1.1. Визначено співвідношення між силою деформування поверхні та глибиною деформування (рис. 1.2).

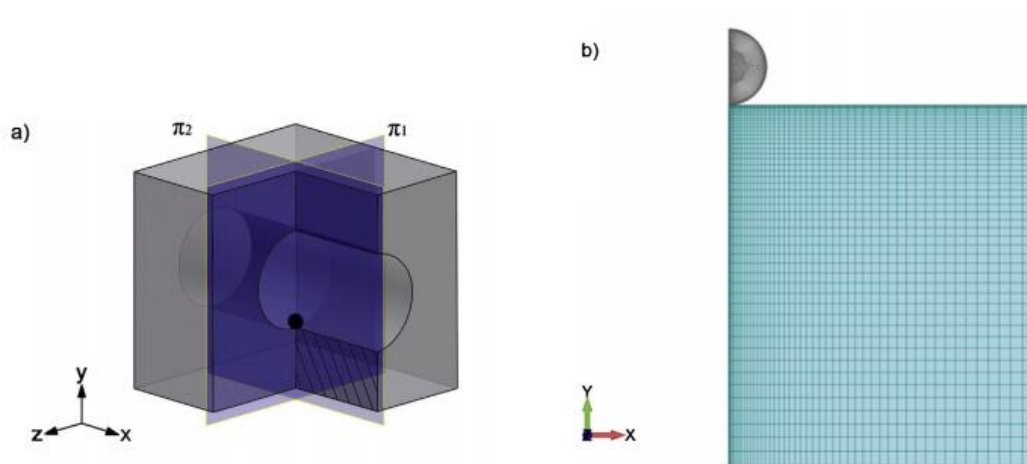


Рисунок 1.1 – Трьохмірна модель а) та сітка вузлів б) при моделюванні розкочування поверхні отвору методом кінцевих елементів [23]

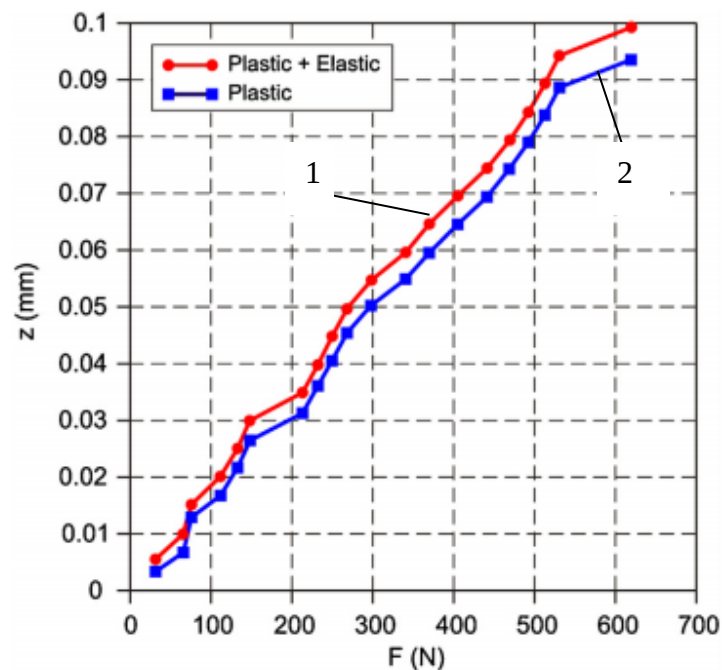


Рисунок 1.2 – Графіки співвідношення між силою деформування поверхні та глибиною деформування кулькою при розкочуванні отвору [23]

Перша крива (червона) визначає зміщення вузлових точок методу кінцевих елементів, що взаємодіють із кулькою, друга крива (синя) – дійсне зміщення вузлових точок поверхні) після розвантаження. Можна побачити, що при зняття зовнішнього навантаження зі сторони кульки відбувається відпружинення обробленої поверхні.

Тому важливим є визначення частки пружних деформацій поверхні, що дозволяє одержати реальну величину деформування поверхні заготовки а також геометричні параметри точності. Визначено, що величина відпружинення поверхні прямопропорційна глибині деформування кулькою.

В результаті моделювання у роботі [23] одержано розподіли напружень у поверхневих шарах заготовки в процесі розкочування кулькою при глибині деформування 30 мкм. Зокрема, на рис. 1.3 показано розподіли поля напружень при 50%-й та 100 %-й глибині деформування. Максимальні напруження величиною 70МПа виникають безпосередньо на поверхні контакту кульки і заготовки.

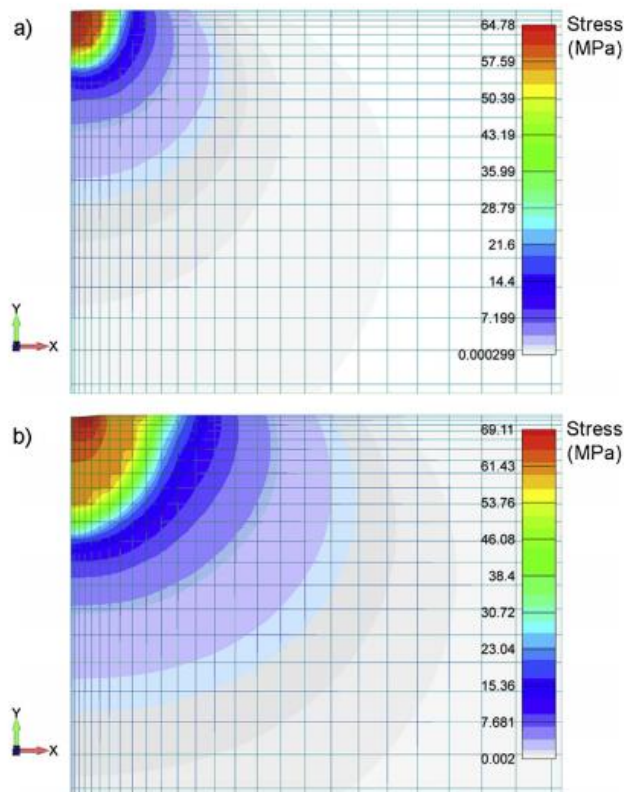


Рисунок 1.3 – Розподіли поля напружень при 50%-й а) та 100 %-й б) глибині (30 мкм) деформування поверхні заготовки кулькою [23]

На рис. 1.4 представлено розподіл надлишкових напружень у поверхневих шарах заготовки після розвантаження і закінчення процесу розкочування при глибині деформування 30 мкм. Максимальна величина залишкових напружень у поверхневих шарах після процесу розкочування приблизно дорівнює величині напружень при 100 % деформуванні (рис. 1.3), проте важлива різниця полягає у тому, що розташування максимальних надлишкових напружень зміщено в напрямку внутрішніх шарів заготовки. Це зміщення пояснюється відпружиненням обробленої поверхні заготовки.

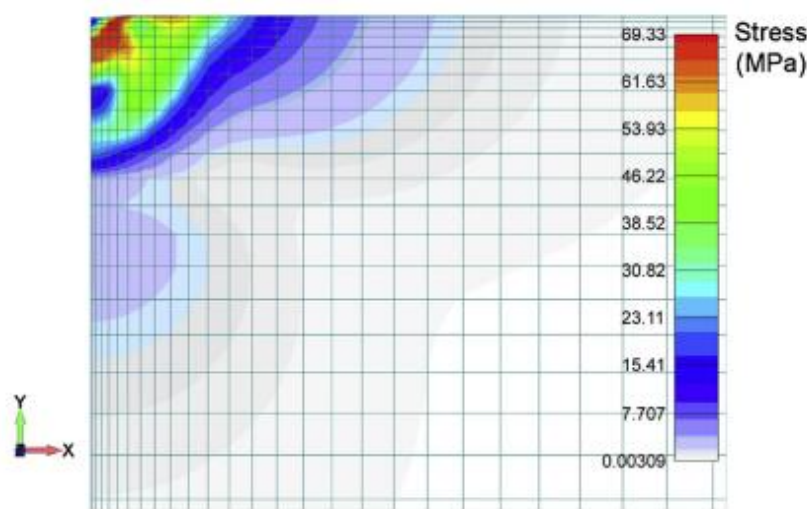


Рисунок 1.4 – Розподіл надлишкових напружень у поверхневих шарах заготовки після розвантаження і закінчення процесу розкочування при глибині деформування 30 мкм [23]

У роботі [23] представлені результати експериментальних досліджень розкочування спеціальним інструментом із кульками (рис. 1.5) поверхні отворів у заготовці із алюмінієвого сплаву EN AW-6082 (AlMgSi) для різних глибин деформування від 5 до 30 мкм. Діаметр кульок становив 7 мм. Процес розкочування проведено на фрезерному верстаті з ЧПК мод. Haas TM-1 при частоті обертання шпинделя 200 об/хв при подачі 50 мм/хв за один прохід. На рис. 1.6 представлено профіль мікронерівностей поверхні отвору після розкочування при глибині деформування 15 мкм. Шорсткість обробленої поверхні за параметром  $Ra$  становила 0,535 мкм. Для глибини деформування 30

мкм шорсткість поверхні становила  $Ra\ 0,629$  мкм.

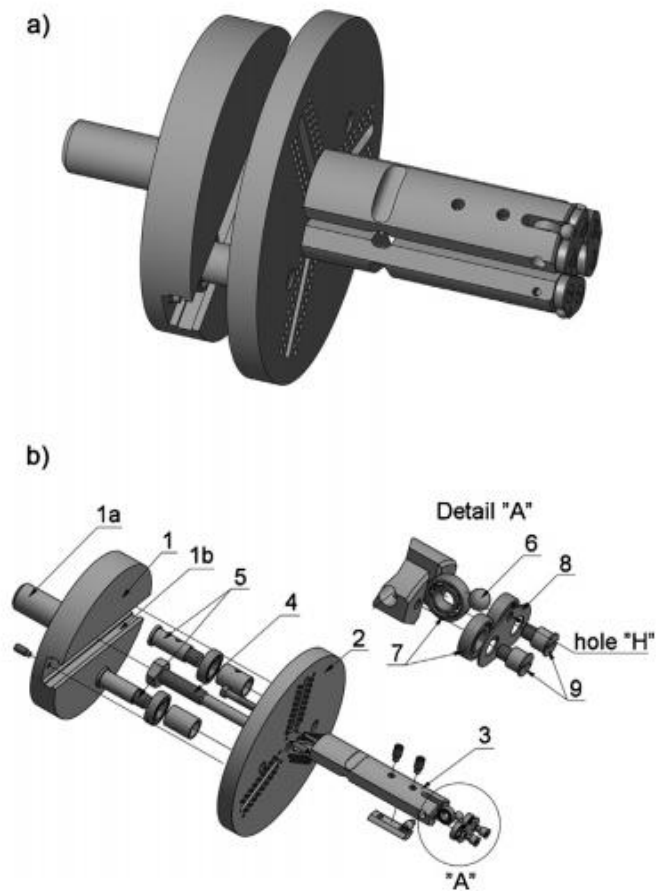


Рисунок 1.5 – Конструкція спеціального інструменту для розкочування поверхні отвору [23]

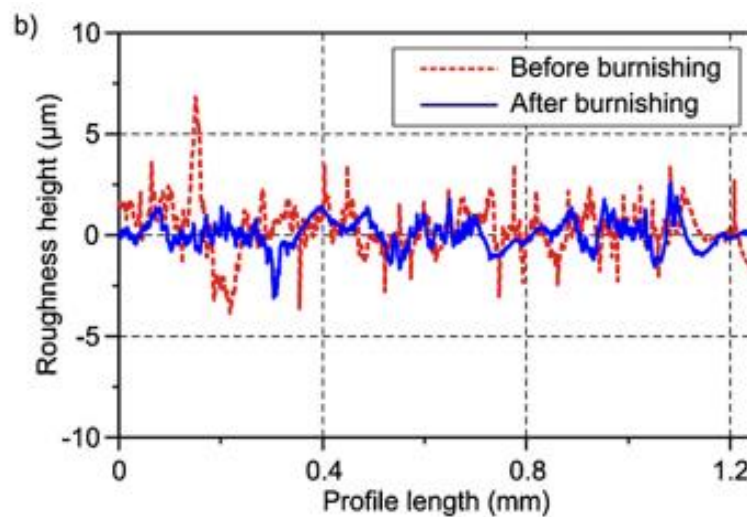


Рисунок 1.6 – Профіль мікронерівностей поверхні отвору до (штрихова лінія) та після (суцільна лінія) розкочування при глибині деформування 15 мкм [23]

Компанією RBT (Roller Burnishig Tool) [25] розроблено ряд конструкцій інструментів із роликами (рис. 1.7) для розкочування внутрішніх та зовнішніх канавок. Такі інструменти можна використовувати на різноманітному обладнанні, зокрема на верстатах токарної групи, верстатах з ЧПК, оброблюючих центрах, наприклад для розкочування внутрішніх канавок під кільця герметизації гідроциліндрів.



Рисунок 1.7 – Конструкції інструментів із роликами для розкочування внутрішніх та зовнішніх канавок від Компанії RBT (Roller Burnishig Tool): а), в) для обробки внутрішніх канавок; б) з можливістю регулювання кута розташування ролика г) для оброблення зовнішніх циліндричних поверхонь, канавок та складних профілів [25]

Для обробки канавок різних форм та розмірів, зокрема нахилених достатньо тільки підібрати ролики, форма яких відповідає формі канавки. Допустима твердість оброблюваних поверхонь канавок не більше HRC 40. Граничні параметри обробки: мінімальна ширина канавки 1 мм, глибина

канавки не більше 20 мм, діаметр оброблюваного отвору більше 25 мм. Досяжна поверхнева шорсткість після одного проходу 0,2 мкм. Втомна міцність обробленої поверхні зростає більше ніж на 30%.

Для виготовлення роликів використовуються тверді сплави та швидкоріжучі сталі. Швидкість оброблювання від 10 до 150 м/хв, подача від 0,05 до 0,2 мм/об, припуск на обробку від 0,01 до 0,02 мм. У якості мастильно-охолоджуючого технологічного середовища (МОТС) використовуються емульсії, масло. Використання фільтрації МОТС з частинками менше 40 мкм дозволяє підвищити якість поверхні та підвищити стійкість інструменту. Шорсткість поверхні перед розкочуванням  $Ra$  1,6 – 3,2.

## **1.2. Висновки та постановка завдань**

Для забезпечення найкращих показників якості та довговічності деталей машин потрібно виконувати ряд технічних вимог щодо забезпечення геометричної точності та шорсткості поверхонь, які можна забезпечувати процесами розкочування.

Багато досліджень процесу вигладжування сфокусовані на розкочуванні кульками або роликами через такі переваги процесу як гнучкість, низька вартість, простота оброблення. Досліджено взаємозв'язок між втомною міцністю, надлишковими напруженнями поверхні заготовки та параметрами процесу її розкочування. У наукових роботах представлено результати експериментальних досліджень впливу параметрів розкочування: швидкість обробки, прикладене зусилля, подача на надлишкові напруження, втомну міцність, профіль та шорсткість обробленої поверхні. Значна частина праць спрямована на двохмірне та трьохмірне моделювання методом кінцевих елементів процесу розкочування кульками та роликами, із врахуванням пружно-пластичного деформування матеріалу заготовки.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок

спеціальним інструментом із роликами.

2. Розробити спеціальний інструмент для розкочування внутрішніх канавок роликами.

3. Встановити взаємозв'язок конструктивних параметрів процесу розкочування внутрішніх канавок із його силовими параметрами.

4. Провести експериментальні дослідження крутного моменту розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із двома роликами.

5. Вивести рівняння регресії залежності крутного моменту розкочування внутрішніх канавок від параметрів процесу.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 737186.140.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами

Внутрішні канавки на циліндричних поверхнях широко використовуються у багатьох конструкціях деталей машин, зокрема для встановлення елементів ущільнення, герметизації, стопоріння елементів вузлів. Процес їх виготовлення включає розточування з подальшим покращенням властивостей поверхневого шару. Широкого застосування набули канавки із радіусною поверхнею, які дозволяють зменшити концентратори напружень, порівняно із звичайними прямокутними внутрішніми канавками. Серед методів покращення властивостей поверхневого шару радіусної канавки є використання методів поверхневого пластичного деформування, які дозволяють сформувати на обробленій поверхні залишкові напруження стиску, що запобігають створенню тріщин при втомних навантаженнях. До основних методів поверхневої пластичної обробки внутрішніх канавок можна віднести дорнування, розкочування роликами або кульками, дробеструйну обробку, вигладжування.

У межах кваліфікаційної роботи розроблено спеціальний інструмент для розкочування внутрішніх канавок роликами, що зображений на рис. 2.1. Основними конструктивними елементами такого інструменту є ролики 1, що рівномірно розміщені по колу і взаємодіють із попередньо розточеною радіусною канавкою 2 заготовки 3. Ролики виготовляються із легованої сталі із високими характеристиками міцності та з наступною термообробкою. Ролики 1 встановлені на осях 4 з можливістю вільного обертання на двох підшипниках 5. Підшипники 5 із роликами 1 розміщені на плунжерах 6 із конусною поверхнею 7. Плунжери 6 мають можливість радіального переміщення у отворах корпусу 8, за рахунок взаємодії із клином 9 хвостовика 10, а також за рахунок дії пружини стиску 11. У центральному отворі корпусу 8 з можливістю зворотно-поступального руху розміщено хвостовик 10 із шпонкою 12, яка

використовується для передачі обертового руху від хвостовика до корпусу. Також на хвостовику встановлено пружину стиску 14, яка піддається стиску до корпусу 8 за допомогою гайки 15.

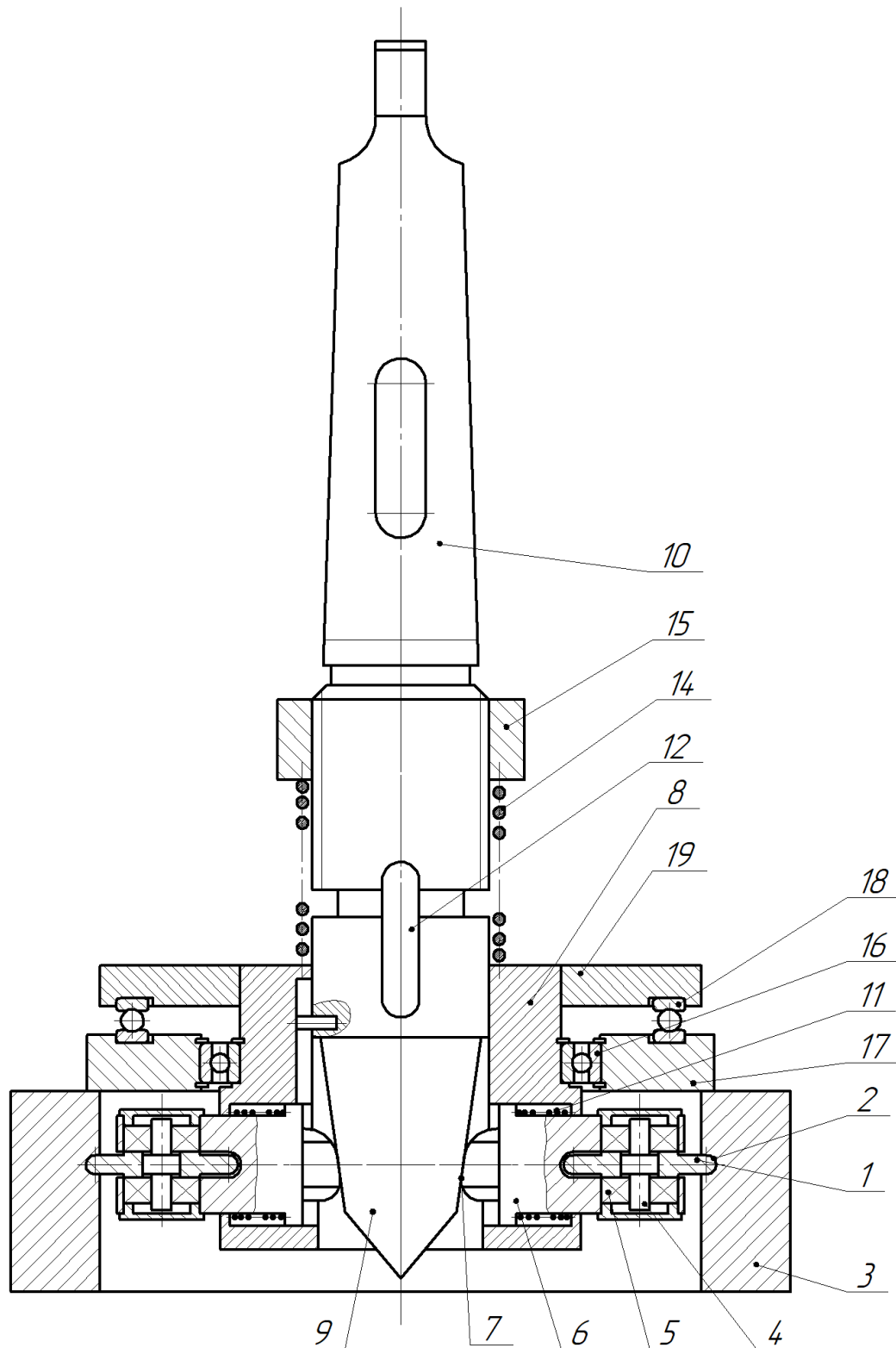


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема інструменту для розкочування внутрішніх канавок роликами

На зовнішній циліндричній поверхні корпусу 8 на підшипниках кочення 16 розташовано диск 17, нижня торцева частина якого взаємодіє із торцевою поверхнею заготовки 3, а верхня торцева поверхня – із упорним підшипником 18. Упорний підшипник 18 встановлено між диском 17 та диском 19, що жорстко прикріплений до корпусу 8.

Розглянемо принцип роботи запропонованого інструменту рис. 2.1. Заготовка 3 із попередньо розточеною внутрішньою канавкою закріплюється у пристрої верстата. Інструмент за допомогою хвостовика 10 закріплюється у шпинделі верстата. Після цього інструмент підводиться до заготовки із забезпеченням контакту між диском 17 та торцевою поверхнею заготовки 3. Вмикають оберти шпинделя, обертовий рух від хвостовика 10 через шпонку 12 передається на корпус 8, який обертається разом із плунжерами 6 та роликami 1. В цей час диск 17 залишається нерухомим. Вмикають осьову подачу інструмента, при цьому хвостовик 8, разом із гайкою 15, клином 9 переміщується вниз, стискаючи пружину 14. Переміщення клина 9 вниз за рахунок взаємодії із конічними поверхнями 7 забезпечує одночасне радіальне переміщення усіх плунжерів 6 із роликami 1, які вступають у взаємодію із поверхнею канавки 2 та здійснюють її поверхневе деформування. Також відбувається стиснення пружин 11. Після завершення обробки поверхні канавки вимикають оберти шпинделя верстата та відводять хвостовик 10 вгору від заготовки, при цьому плунжери 6 разом із роликami 1 переміщуються до центру отвору заготовки 3 за допомогою пружин стиску 11. При виході роликів 1 із радіусного паза 2 відбувається переміщення інструмента вгору від заготовки.

Для проектування представленого на рис. 2.1 інструмента, що використовується для розточування внутрішніх канавок виникає необхідність у дослідженні взаємозв'язку конструктивних параметрів процесу із його силовими параметрами. Для цього розроблено розрахункову схему, зображену

на рис. 2.2. Розкочування попередньо розточеної півкруглої канавки на нерухомій заготовці 1 здійснюється роликом 2.

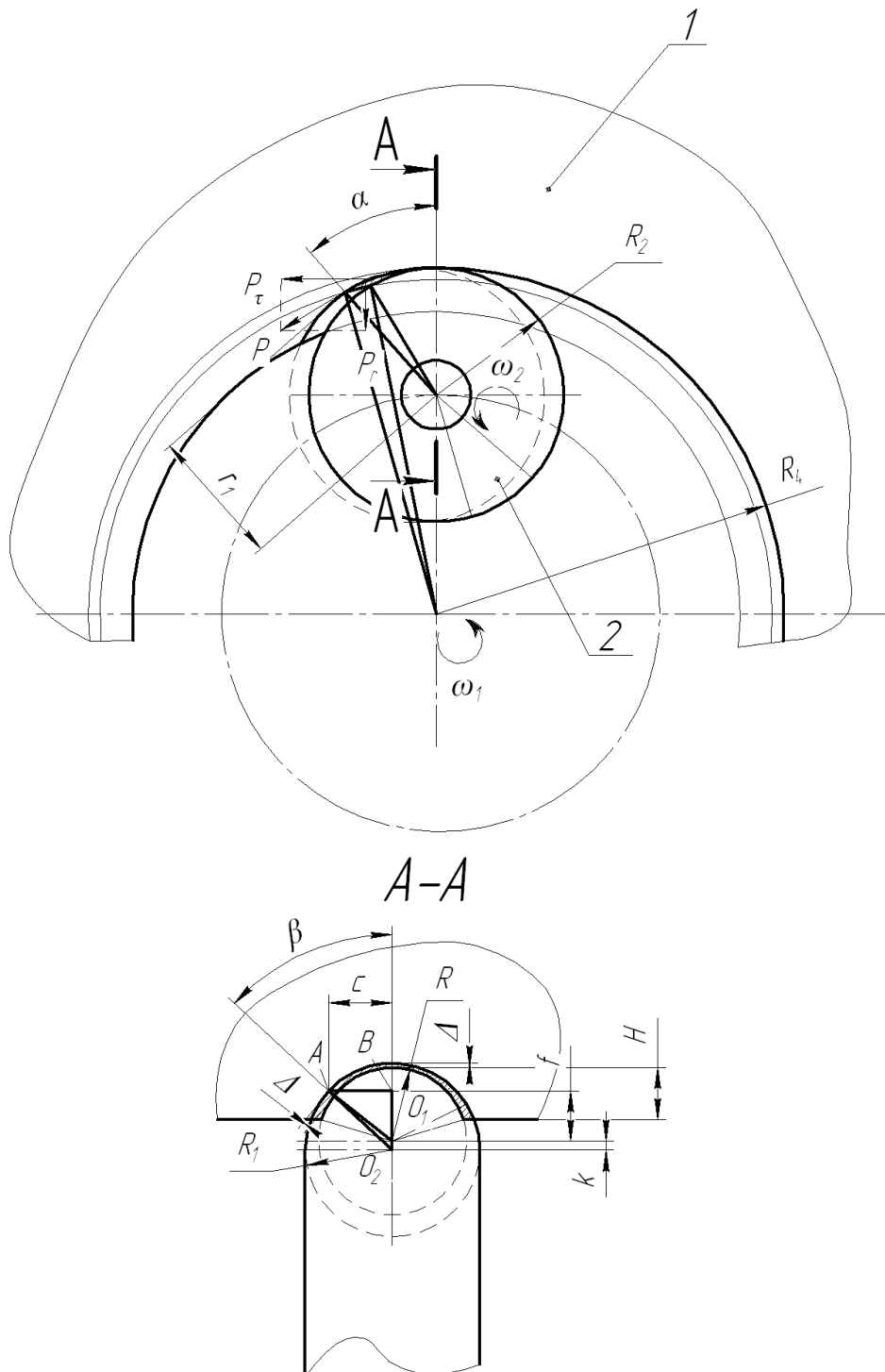


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема визначення параметрів процесу розкочування внутрішніх канавок: 1 – заготовка; 2 - ролик

Розглянуто узагальнений випадок, коли радіус  $R_1$  при вершині ролика є більшим за радіус  $R$  попередньо розточеної канавки, при цьому центр радіусної

поверхні при вершині ролика зміщений відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки на величину  $k$ . Внаслідок цього товщина  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки має змінну величину вздовж дуги канавки. Знайдемо залежність товщини  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки від геометричних параметрів ролика та канавки.

Із трикутника  $O_1AB$  розрахункової схеми рис. 2.2 визначаємо величину  $f$  відстані від центра  $O_1$  канавки до хорди, що проходить через точку контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі:

$$f = (R + \Delta) \cos \beta, \quad (2.1)$$

де  $\beta$  – кут контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі.

Із трикутника  $O_1AB$  розрахункової схеми рис. 2.2 визначаємо величину  $c$  половини хорди, що проходить через точку контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі:

$$c = (R + \Delta) \sin \beta. \quad (2.2)$$

Із трикутника  $O_2AB$  величина  $c$  половини хорди, що проходить через точку контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі визначається за формулою:

$$c = \sqrt{R_1^2 - (f + k)^2}. \quad (2.3)$$

Підставляючи формулу (2.2) у формулу (2.3), одержуємо:

$$c = \sqrt{R_1^2 - ((R + \Delta) \cos \beta + k)^2}. \quad (2.4)$$

Прирівнюємо формули (2.2) та (2.4) і одержуємо рівняння для знаходження товщини  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки:

$$\sqrt{R_1^2 - ((R + \Delta) \cos \beta + k)^2} - (R + \Delta) \sin \beta = 0. \quad (2.5)$$

Після розв'язку рівняння (2.5) одержано співвідношення для знаходження товщини  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки:

$$\Delta = \sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R. \quad (2.6)$$

На основі рівняння (2.6) побудовано графіки залежності товщини  $\Delta$  деформованого шару металу від кута  $\beta$  контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі (рис. 2.3) та від величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки (рис. 2.4).

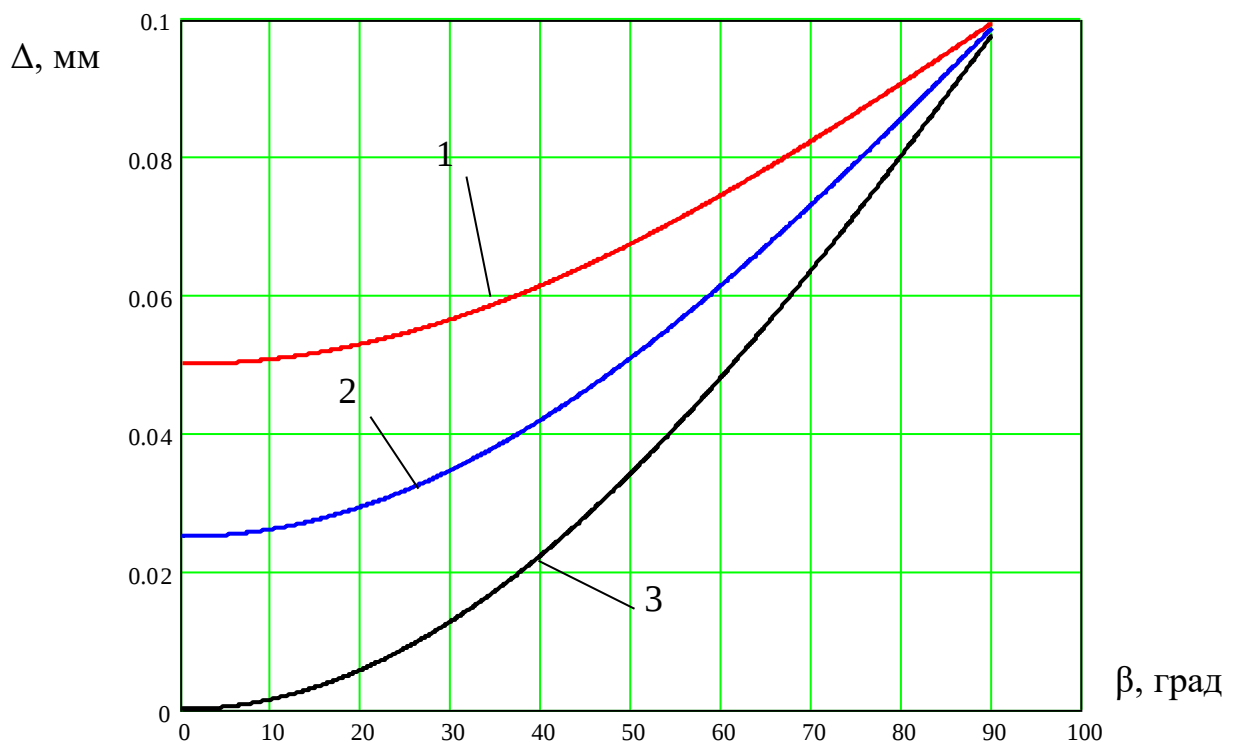


Рисунок 2.3 – Графіки залежності товщини  $\Delta$  деформованого шару металу від кута  $\beta$  контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі,

$R_1=2,1$  мм,  $R=2,0$  мм: 1 –  $k=0,05$  мм; 2 –  $k=0,075$  мм; 3 –  $k=0,1$  мм

Із графіків на рис. 2.3 можна зробити висновок, що при збільшенні кута  $\beta$  контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі товщина  $\Delta$  деформованого шару металу зростає. Найменша товщина  $\Delta$  деформованого

шару металу присутня при вершині канавки, а найбільша - при основі і наближається до різниці радіусів  $R_1$  при вершині ролика та радіуса  $R$  попередньо розточеної канавки. При величині  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки, що дорівнює різниці радіусів  $R_1$  при вершині ролика та радіуса  $R$  попередньо розточеної канавки деформація матеріалу при вершині канавки не відбувається.

При відсутності зміщення центра радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки, тобто при  $k=0$ , формула (2.6) набуде вигляду:  $\Delta = R_1 - R$ .

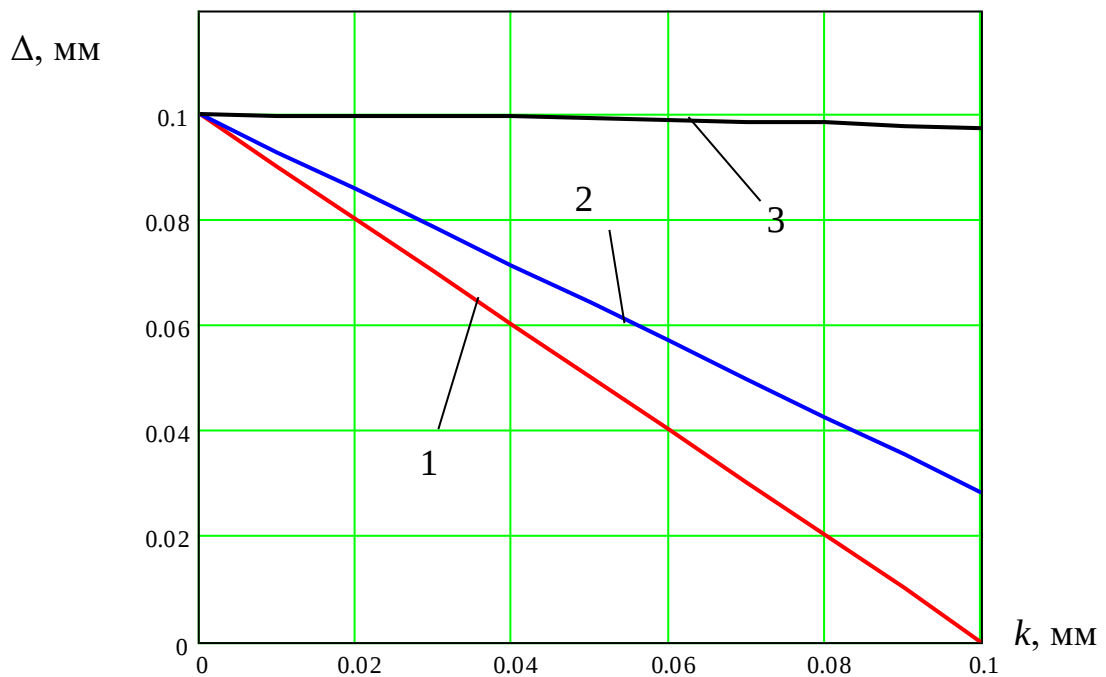


Рисунок 2.4 – Графіки залежності товщини  $\Delta$  деформованого шару металу від величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки,  $R_1=2,1$  мм,  $R=2,0$  мм: 1 –  $\beta=0$  град; 2 –  $\beta=45$  град; 3 –  $\beta=90$  град

Із графіків на рис. 2.4 можна зробити висновок, що при збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки товщина  $\Delta$  деформованого

шару металу зменшується. Найбільше зменшення величини  $\Delta$  відбувається для кута контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі  $\beta=0$  град, а найменше – для  $\beta=90$  град.

У найвіддаленішій точці деформації поверхневого шару матеріалу роликом при  $\beta=0$  градусів формула (2.6) набуде вигляду:  $\Delta = R_1 - k - R$ .

Максимальний кут контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі визначається за формулою:

$$\beta_{\max} = \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right). \quad (2.7)$$

де  $H$  – глибина канавки в поперечному перерізі.

Підставляючи формулу (2.7) у рівняння (2.6), одержуємо максимальну товщину  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки:

$$\Delta_{\max} = \sqrt{\left(1 - \frac{H}{R}\right)^2 \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k\left(1 - \frac{H}{R}\right) - R. \quad (2.8)$$

Кут контакту між поверхнями ролика та канавки в поздовжньому перерізі є змінним для різних перерізів канавки та залежить від товщини  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки. Визначається за формулою:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta}{R_2}\right), \quad (2.9)$$

де  $R_2$  - радіус ролика.

Підставляючи формулу (2.6) у рівняння (2.9), одержуємо:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right). \quad (2.10)$$

Визначаємо площу зони деформації:

$$S = 2R_2R_1 \int_0^{\beta_{\max}} \arccos \left( 1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2} \right) d\beta; \quad (2.11)$$

$$S = 2R_2R_1 \int_0^{\arccos \left( 1 - \frac{H}{R} \right)} \arccos \left( 1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2} \right) d\beta. \quad (2.12)$$

На основі рівняння (2.12) побудовано графіки залежності площі зони деформації від величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки (рис. 2.5) та від радіуса  $R_1$  при вершині ролика (рис. 2.6)

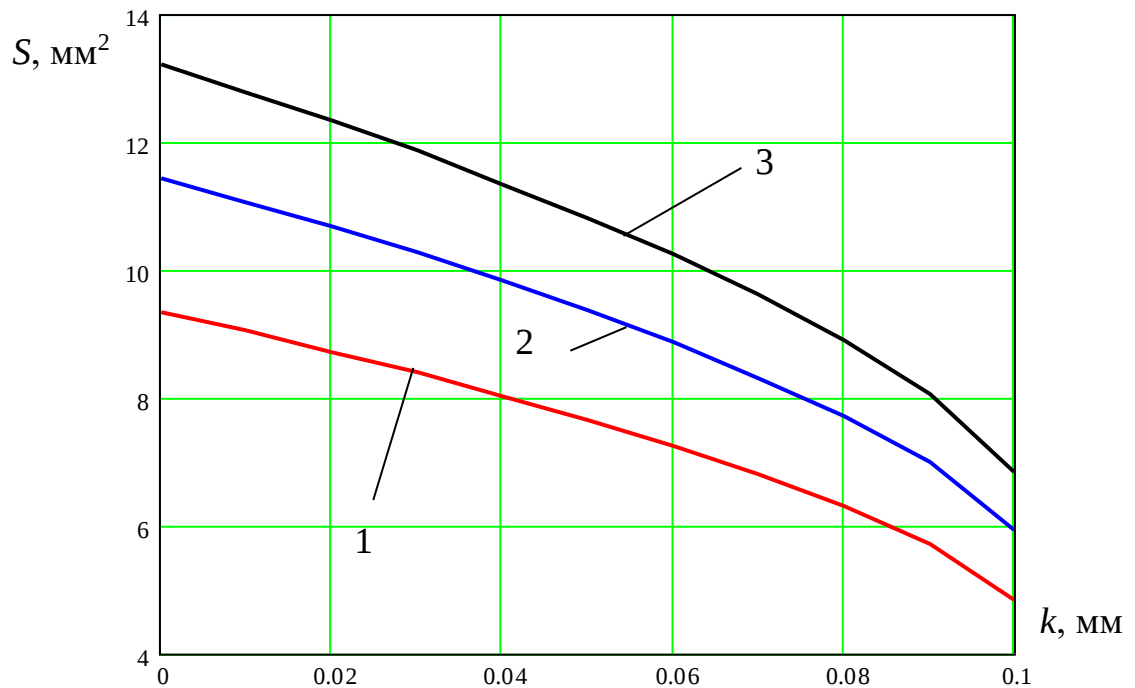


Рисунок 2.5 – Графіки залежності площі зони деформації від величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки,  $R_1=2,1$  мм,  $R=2,0$  мм: 1 –  $R_2=10$  мм; 2 –  $R_2=15$  мм; 3 –  $R_2=20$  мм

Із графіків на рис. 2.5 можна зробити висновок, що при збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно

радіусної поверхні попередньо розточеної канавки площа зони деформації зменшується.

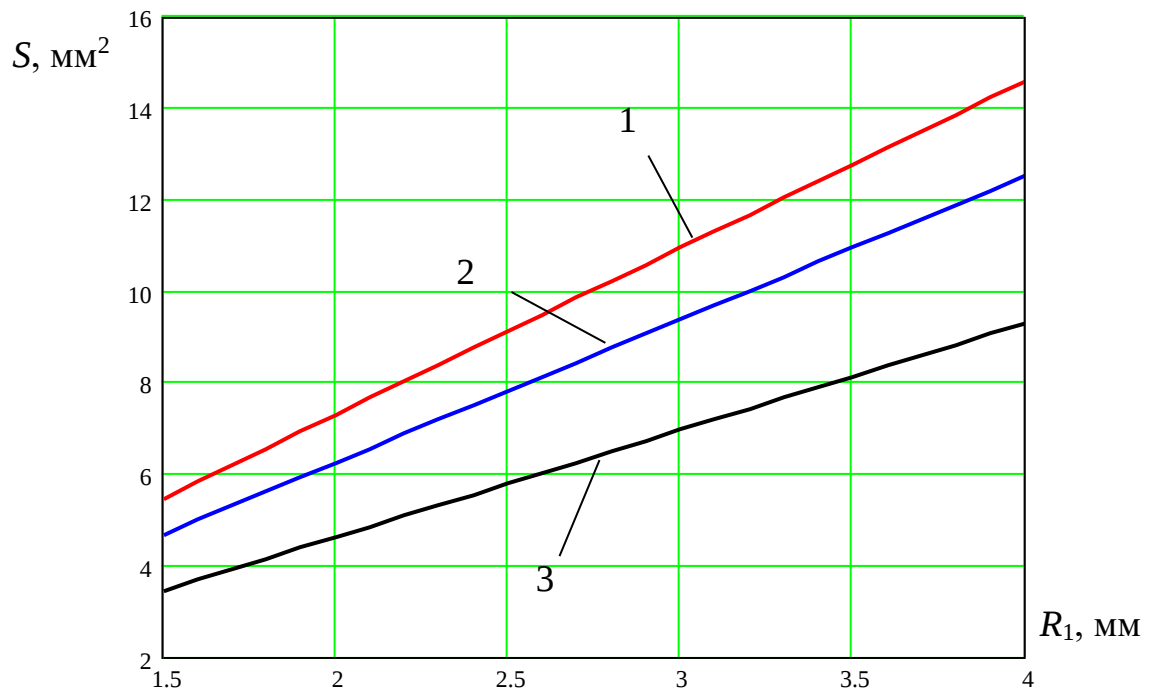


Рисунок 2.6 – Графіки залежності площі зони деформації від радіуса  $R_1$  при вершині ролика,  $R_2=10$  мм: 1 –  $k=0,05$  мм; 2 –  $k=0,075$  мм; 3 –  $k=0,1$  мм

Із графіків на рис. 2.6 можна зробити висновок, що при збільшенні радіуса  $R_1$  при вершині ролика площа зони деформації збільшується.

Силу  $F$  розкочування канавки визначаємо як величину прямопропорційну границі текучості  $\sigma_T$  матеріалу заготовки та площі зони деформації без врахування зростання границі текучості матеріалу при деформації:

$$F = 2\sigma_T R_2 R_1 \int_0^{\arccos\left(1-\frac{H}{R}\right)} \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right) d\beta \quad (2.13)$$

На основі рівняння (2.13) побудовано графіки залежності сили  $F$  розкочування канавки від величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при

вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки (рис. 2.7).

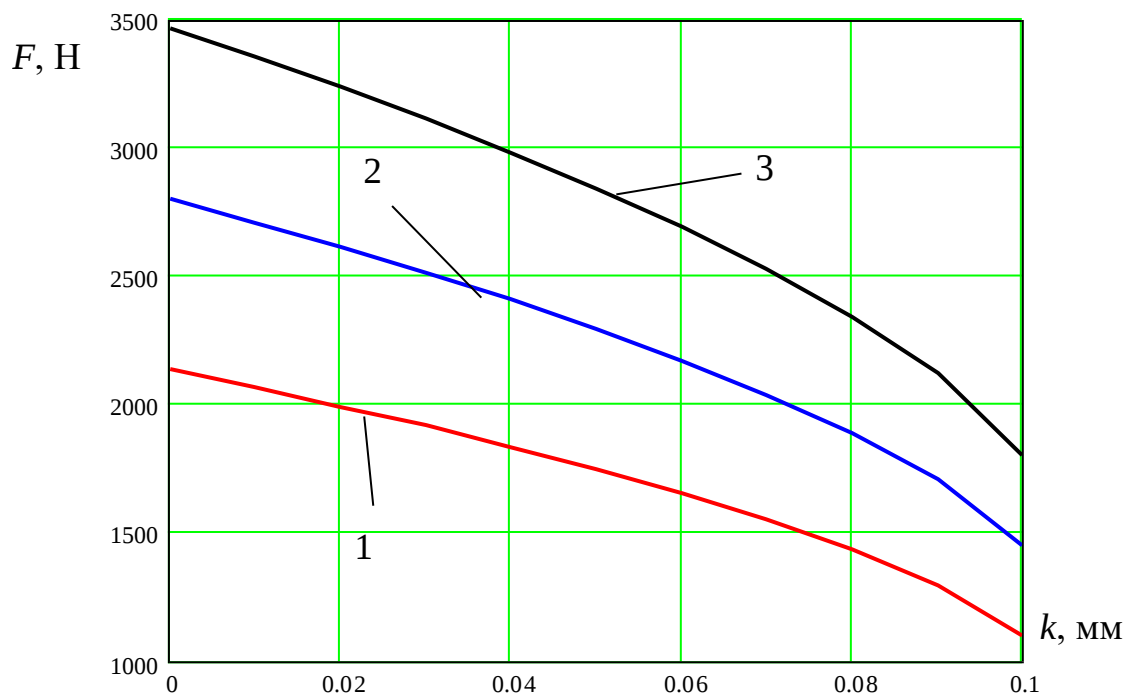


Рисунок 2.7 – Графіки залежності сили  $F$  розкочування канавки від величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки,  $R_2=10$  мм: 1 –  $R_1=1,6$  мм; 2 –  $R_1=2,1$  мм; 3 –  $R_1=2,6$  мм

Із графіків на рис. 2.7 можна зробити висновок, що при збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки сила  $F$  розкочування канавки зменшується.

Силу розкочування канавки розкладаємо на тангенціальну  $F_\tau$  та радіальну складові  $F_r$ :

$$F_r = F \sin \frac{\alpha}{2}; \quad (2.14)$$

$$F_\tau = F \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2.15)$$

Відповідно:

$$F_r = 2\sigma_T R_2 R_1 \int_0^{\arccos\left(1-\frac{H}{R}\right)} \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right) d\beta \times$$

$$\times \sin\left(\frac{\arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right)}{2}\right); \quad (2.16)$$

$$F_\tau = 2\sigma_T R_2 R_1 \int_0^{\arccos\left(1-\frac{H}{R}\right)} \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right) d\beta \times$$

$$\times \cos\left(\frac{\arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right)}{2}\right). \quad (2.17)$$

Визначаємо крутний момент обертання інструменту для розкочування внутрішніх канавок роликками:

$$M = nP_\tau R_4; \quad (2.18)$$

$$M = 2n\sigma_T R_4 R_2 R_1 \int_0^{\arccos\left(1-\frac{H}{R}\right)} \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right) d\beta \times$$

$$\times \cos\left(\frac{\arccos\left(1 - \frac{\sqrt{\cos^2 \beta \cdot k^2 + R_1^2 - k^2} - k \cos \beta - R}{R_2}\right)}{2}\right), \quad (2.19)$$

де  $n$  – кількість роликів, що одночасно взаємодіють із поверхнею канавки;

$R_4$  - зовнішній радіус канавки.

## 2.2. Результати експериментальних досліджень крутного моменту розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами

Під час виконання кваліфікаційної роботи проведено експериментальні дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами, конструкція якого представлена на рис. 2.1. Досліджено крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок, що дозволяє визначати силові параметри а також потужність поверхневого пластичного деформування канавки роликами. Вказані параметри можна використовувати при проектуванні інструментів та технологічних процесів із вибором обладнання.

Розкочування внутрішніх канавок проведено на вертикально-розточному верстаті. У конструкції інструменту застосовано два спарених ролики трьох різних типорозмірів. Напівкруглі канавки трьох типорозмірів на поверхні отвору заготовки попередньо формувались розточуванням. Максимальний діаметр канавки становив 80 мм. Опис пристрою для розкочування канавки та принцип його роботи представлено у підрозділі 2.1.

Для вимірювання крутного моменту використано частотний перетворювач Altivar 71, що приєднувався до двигуна верстата, а також програмне забезпечення PowerSuit, яке дозволяло одержувати значення крутних моментів при різних етапах розкочування канавки. Матеріал заготовки алюмінієвий сплав Д16Т.

Перед початком експерименту відбувалось його планування відповідно до план-матриці повнофакторного експерименту із трьома незалежними змінними вхідними параметрами на трьох рівнях. Попередні дослідження дозволили встановити, що основними факторами, які впливають на крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок є: радіус  $R_1$  при вершині ролика, величина  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки, радіус ролика  $R_2$ .

Відповідно досліджуваний крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх

канавок роликами представлено у вигляді функції  $M = f(R_1, k, R_2)$ .

Визначено межі варіювання основних змінних факторів:

- радіус при вершині ролика  $R_1 = 1,6 - 2,6$  мм;
- величина зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки  $k = 0,02 - 0,04$  мм;
- радіус ролика  $R_2 = 10 - 14$  мм.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для радіуса при вершині ролика  $R_1$ :

$$X_{01} = \frac{1,6 + 2,6}{2} = 2,1 \text{ (мм)}; \quad (2.20)$$

- для величини зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки  $k$ :

$$X_{02} = \frac{0,02 + 0,1}{2} = 0,06 \text{ (мм)}; \quad (2.21)$$

- для радіуса ролика  $R_2$ :

$$X_{03} = \frac{10 + 14}{2} = 12 \text{ (мм)}. \quad (2.22)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{2,6 - 1,6}{2} = 0,5 \text{ (мм)}; \quad x_1 = \frac{R_1 - 2,1}{0,5}; \quad (2.23)$$

$$\Delta X_2 = \frac{0,1 - 0,02}{2} = 0,04 \text{ (мм)}; \quad x_2 = \frac{k - 0,06}{0,04}; \quad (2.24)$$

$$\Delta X_3 = \frac{14 - 10}{2} = 2 \text{ (мм)}; \quad x_3 = \frac{R_2 - 12}{2}. \quad (2.25)$$

Результати вибору основних факторів, що впливають на крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок та вибір рівнів їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Змінні фактори що впливають на крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок та вибір рівнів їх варіювання

| Фактори                                     | Позначення |       | Інтерв.<br>варіюв. | Рівні варіювання,<br>натур.(кодовані) |          |           |
|---------------------------------------------|------------|-------|--------------------|---------------------------------------|----------|-----------|
|                                             | натур.     | код.  |                    |                                       |          |           |
| Радіус при вершині ролика                   | $R_1$ , мм | $x_1$ | 0,5                | 2,6 (+1)                              | 2,1 (0)  | 1,6 (-1)  |
| Величина зміщення центру радіусної поверхні | $k$ , мм   | $x_2$ | 0,04               | 0,1 (+1)                              | 0,06 (0) | 0,02 (-1) |
| Радіус ролика                               | $R_2$ , мм | $x_3$ | 2                  | 14 (+1)                               | 12 (0)   | 10 (-1)   |

Рівняння регресії, що визначають взаємозв'язок вхідних факторів та значення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок представлено поліномом другої степені. Значення коефіцієнтів рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

| Коеф. | $b_0$  | $b_1$ | $b_2$  | $b_3$ | $b_{12}$ | $b_{13}$ | $b_{23}$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ | $b_{33}$ |
|-------|--------|-------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Д16Т  | 189,82 | 43,03 | -50,73 | 15,11 | -11,80   | 3,58     | -4,27    | 0,044    | -12,04   | -0,63    |

Усі коефіцієнт рівняння регресії є значущими за критерієм Стюдента.

Загальний вигляд рівняння регресії крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок залежно від зміни: радіуса  $R_1$  при вершині ролика, величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки, радіуса ролика  $R_2$ , тобто  $M_{(x_1, x_2, x_3)} = f(R_1, k, R_2)$  за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$M_{(x_1, x_2, x_3)} = 189,82 + 43,03x_1 - 50,73x_2 + 15,11x_3 - 11,80x_1x_2 + 3,58x_1x_3 - 4,27x_2x_3 + 0,044x_1^2 - 12,04x_2^2 - 0,63x_3^2, \quad (2.26)$$

де  $x_1$  - кодоване значення радіуса при вершині ролика  $R_1$ ;  $x_2$  - кодоване значення величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$ ;  $x_3$  - кодоване

значення радіуса ролика  $R_2$ .

У натуральних величинах рівняння регресії крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок має вигляд:

$$M_{(R_1, k, R_2)} = -77,02 + 77,76R_1 + 1514,25k + 7,02R_2 - 590R_1k + 3,58R_1R_2 - 53,38kR_2 + 0,176R_1^2 - 7525k^2 - 0,158R_2^2. \quad (2.27)$$

На основі даних експериментальних досліджень та рівняння регресії (2.27) за допомогою прикладного програмного забезпечення виконано креслення поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів, що можна використовувати для визначення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок та проектування інструментів. Графіки зображено на рисунках 2.9 – 2.14.

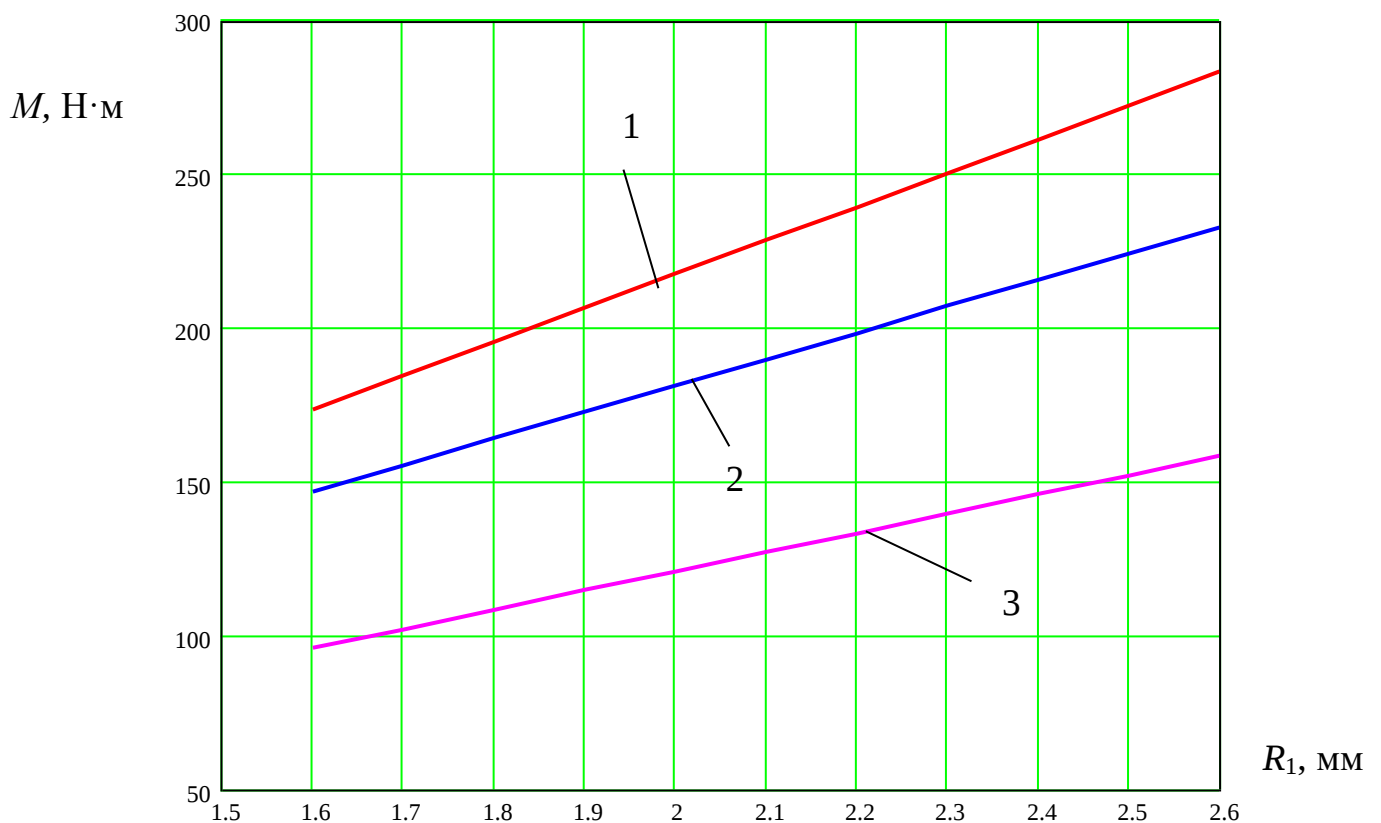


Рисунок 2.9 – Графіки залежності крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок від радіуса при вершині ролика  $R_1$ :  $R_2=12$  мм:

1)  $k=0,02$  мм; 2)  $k=0,06$  мм; 3)  $k=0,1$  мм

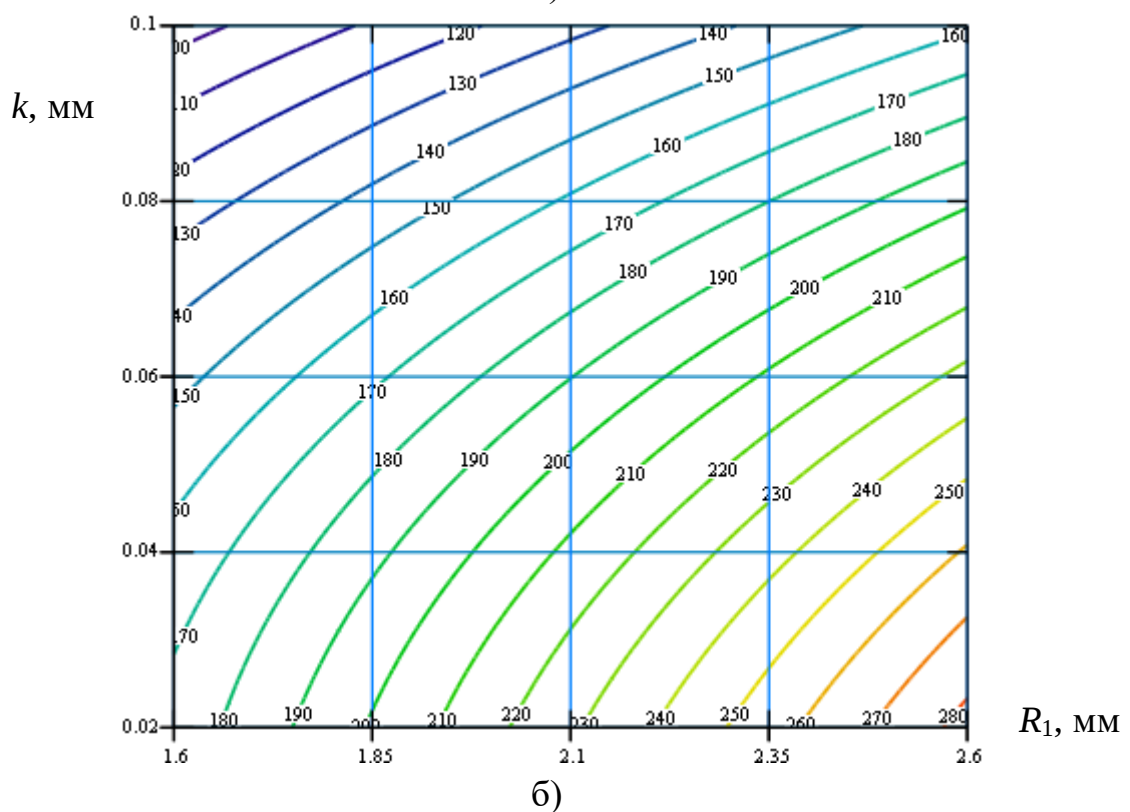
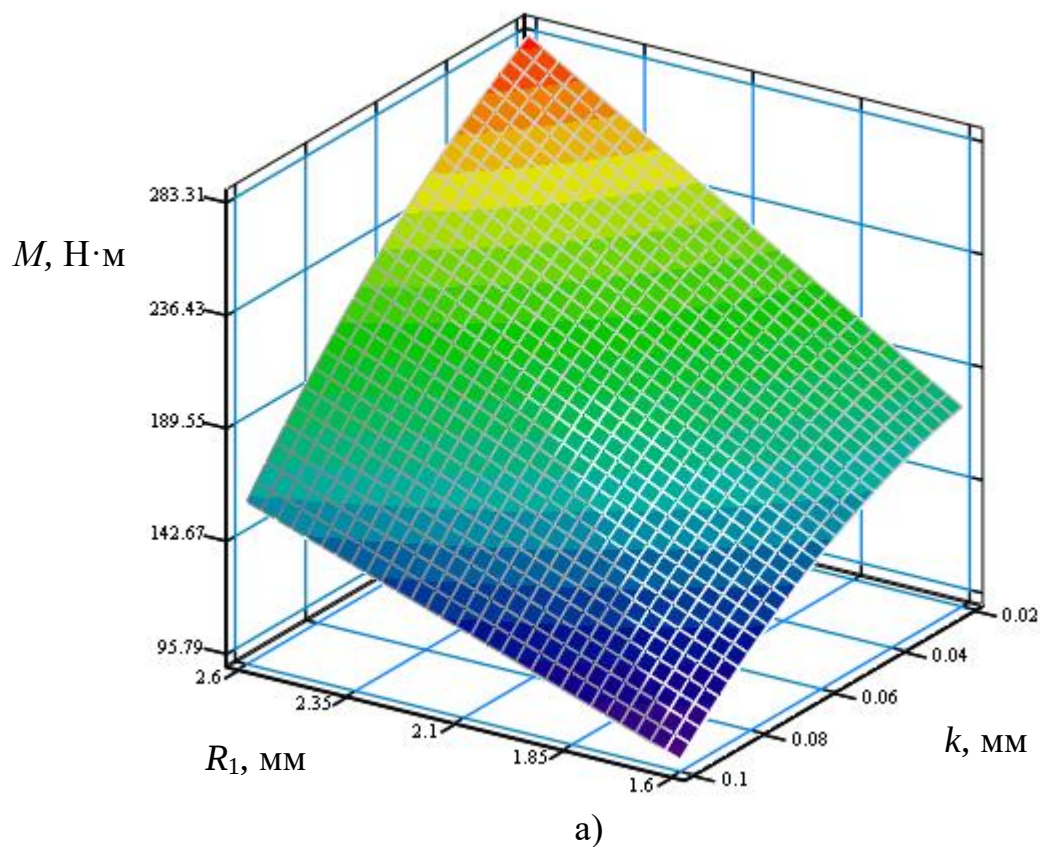
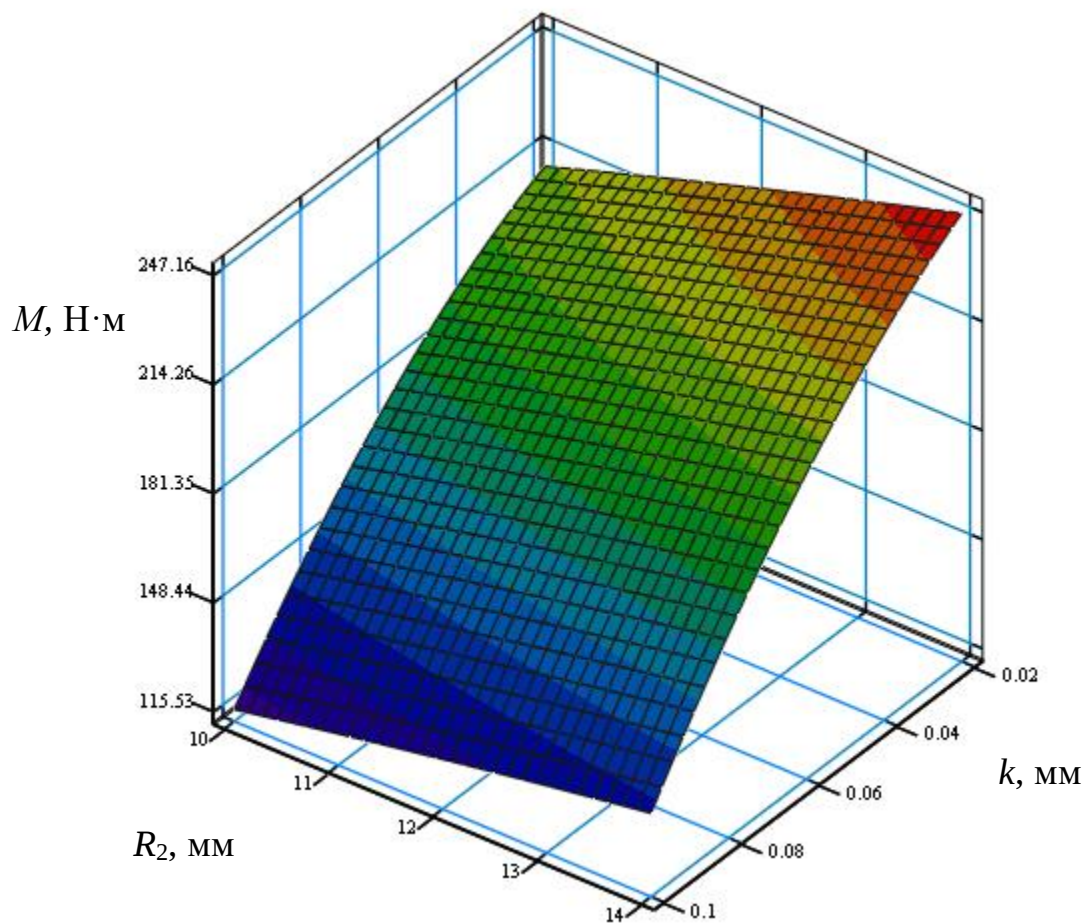
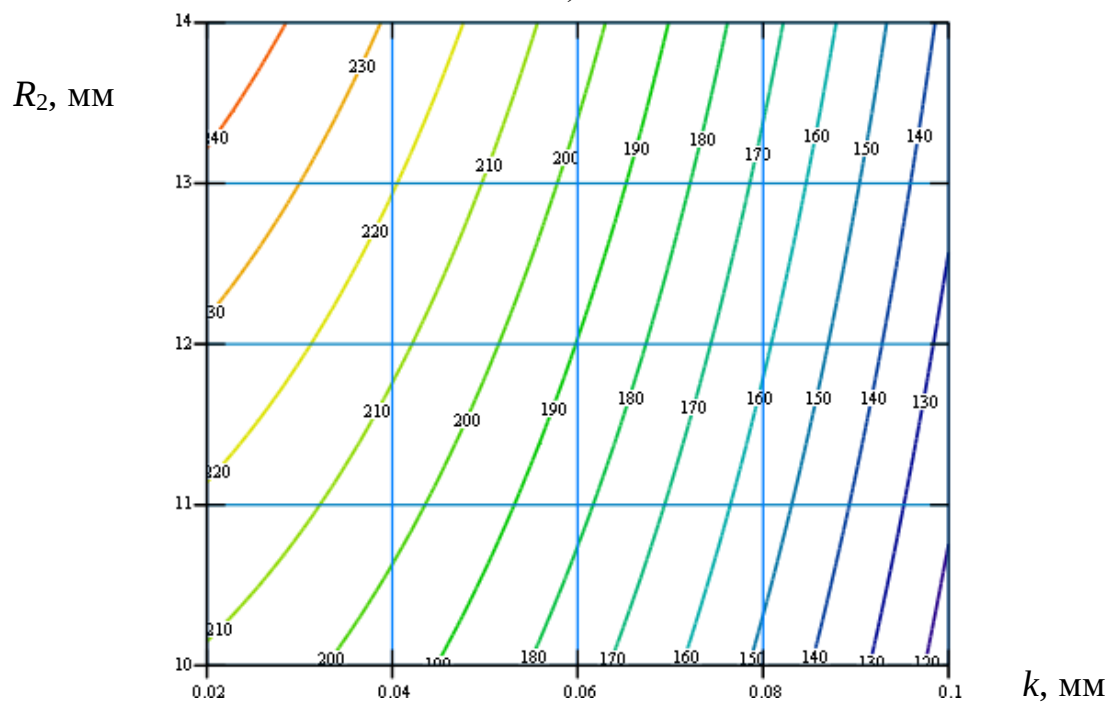


Рисунок 2.10 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок від радіуса при вершині ролика  $R_1$  та величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  ( $R_2 = 12 \text{ мм}$ )

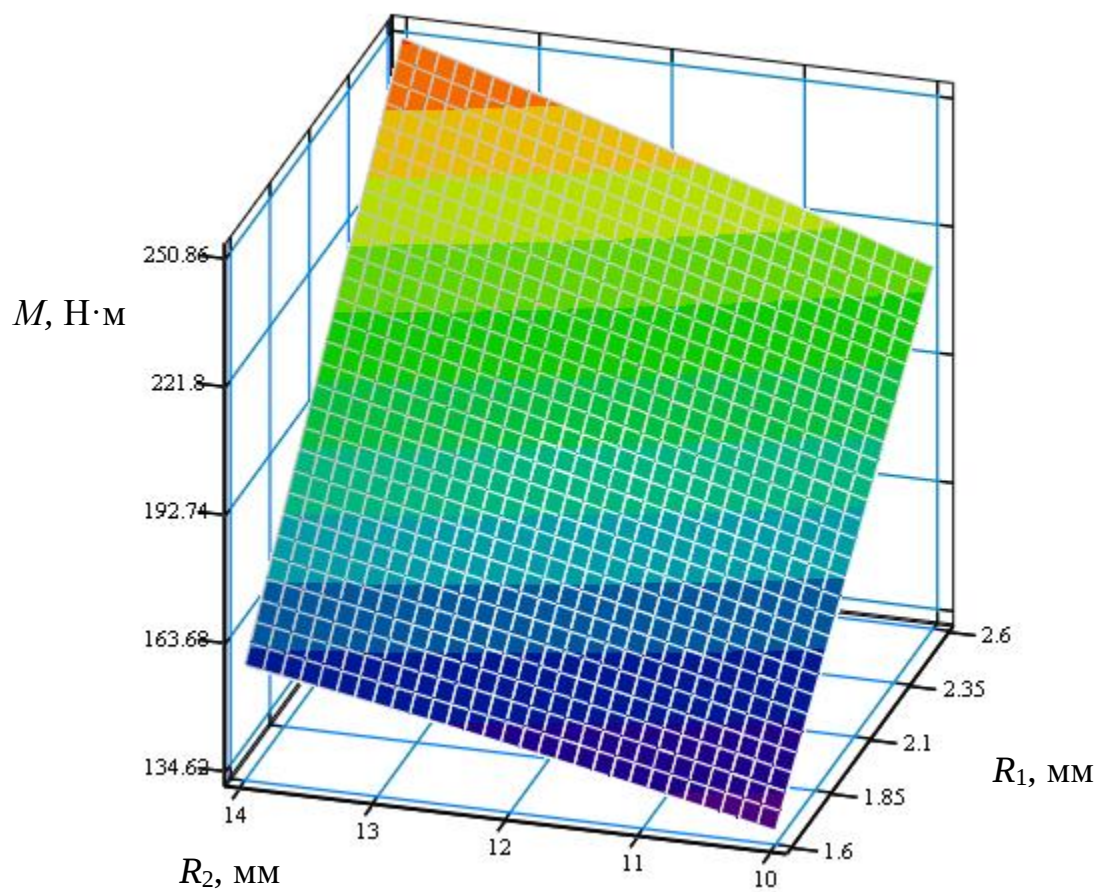


а)

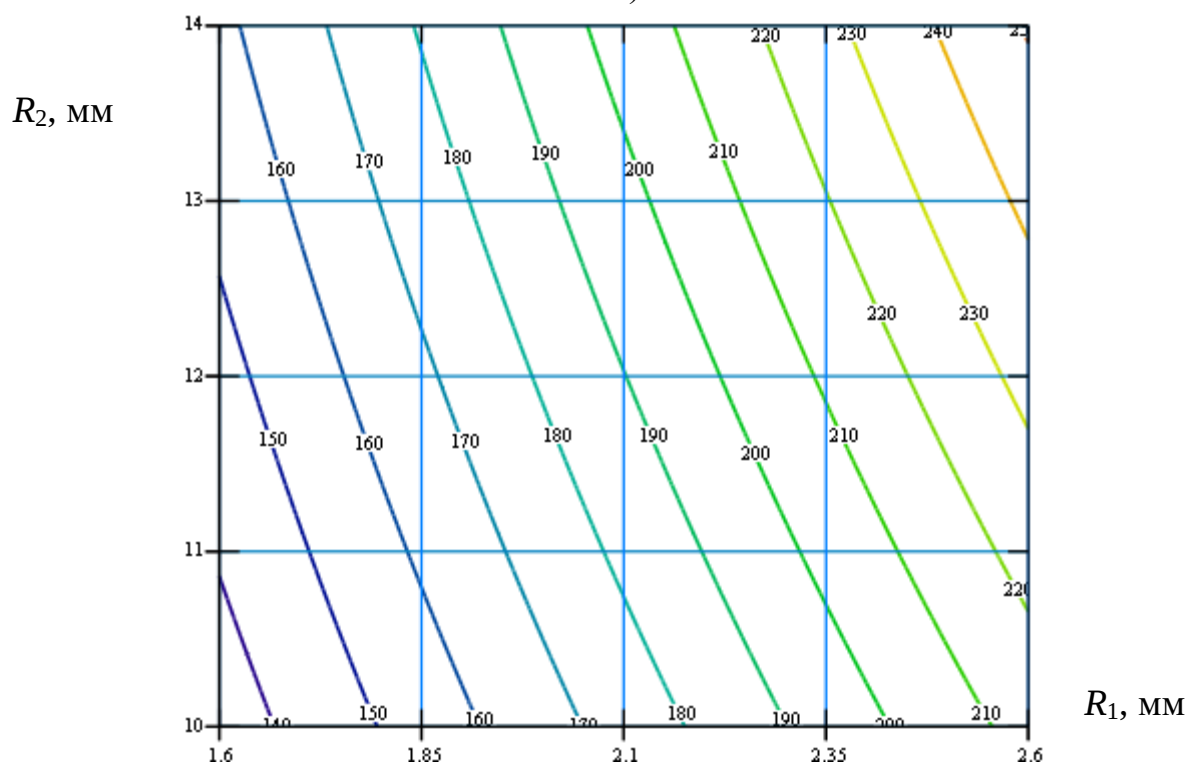


б)

Рисунок 2.11 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок від величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  та радіуса ролика  $R_2$  ( $R_1 = 2,1 \text{ мм}$ )



а)



б)

Рисунок 2.12 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок від радіуса при вершині ролика  $R_1$  та радіуса ролика  $R_2$  ( $k = 0,06$  мм)

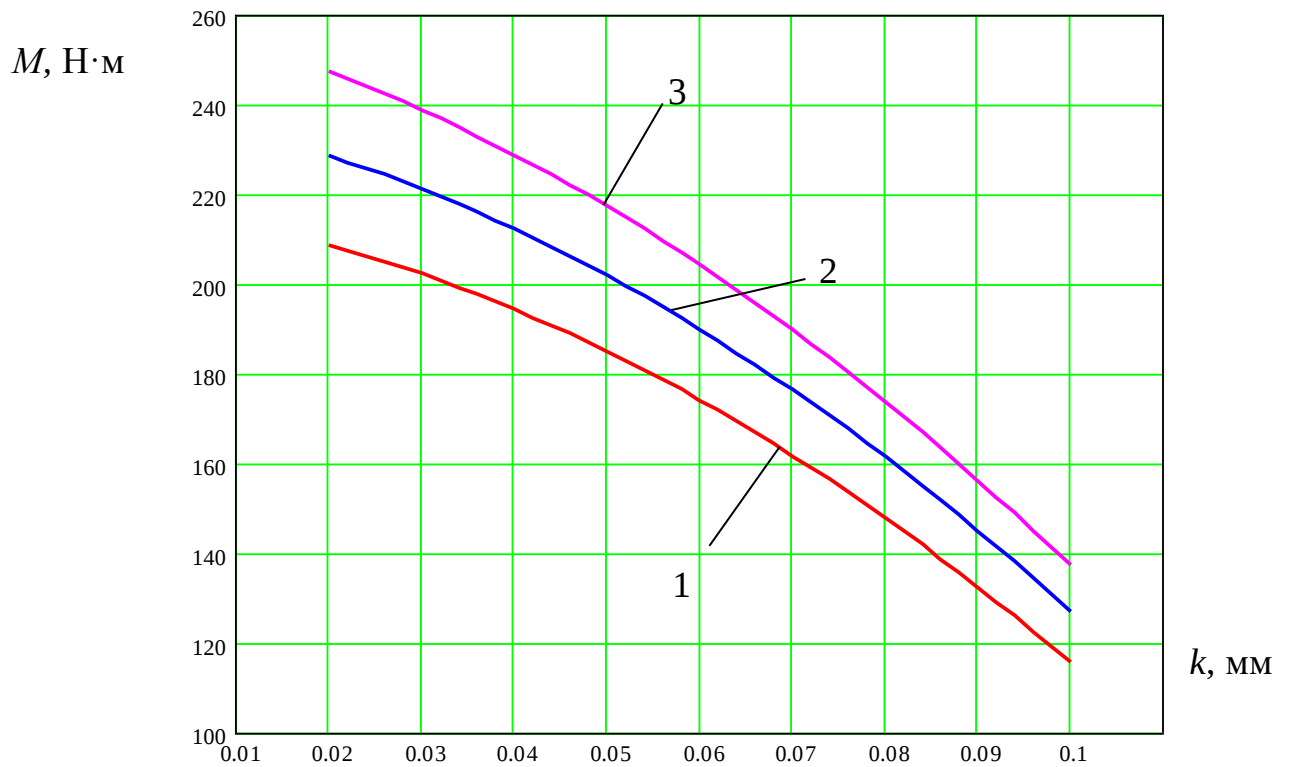


Рисунок 2.13 – Графіки залежності крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок від величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$ :  
 $R_1 = 2.1 \text{ mm}$ : 1)  $R_2 = 10 \text{ mm}$ ; 2)  $R_2 = 12 \text{ mm}$ ; 3)  $R_2 = 14 \text{ mm}$

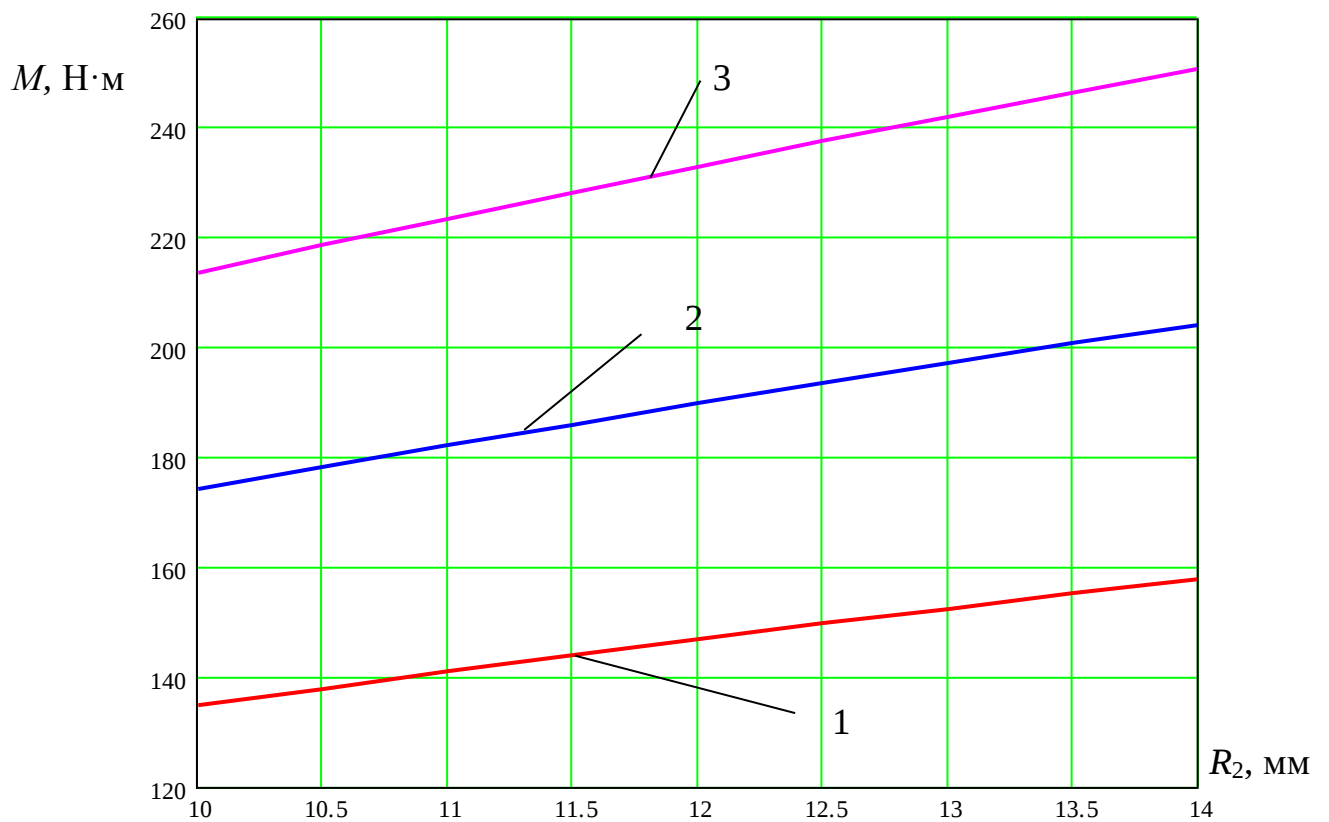


Рисунок 2.14 – Графіки залежності крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок від радіуса ролика  $R_2$ ,  $k = 0.06 \text{ mm}$ : 1)  $R_1 = 1.6 \text{ mm}$ ;  
 2)  $R_1 = 2.1 \text{ mm}$ ; 3)  $R_1 = 2.6 \text{ mm}$

Рівняння регресії у кодованих (2.26) та натуральних (2.27) величинах адекватно відображають крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із двома роликами при таких межах параметрів:

$$1,6 \leq R_1 \leq 2,6 \text{ (мм)}; 0,02 \leq k \leq 0,04 \text{ (мм)}; 10 \leq R_2 \leq 14 \text{ (мм)}.$$

В результаті аналізу представлених вище графіків встановлено, що найбільший вплив на крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок має величина зміщення центру радіусної поверхні  $k$ . Менший вплив має радіус при вершині ролика  $R_1$  і найменший – радіус ролика  $R_2$ . При збільшенні радіуса при вершині ролика  $R_1$ , радіуса ролика  $R_2$  крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок зростає, а при збільшенні величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  – зменшується.

Максимальне значення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок становить 305,80 Н·м, а мінімальне – 87,71 Н·м. Збільшення радіуса при вершині ролика  $R_1$  від 1,6 мм до 2,6 мм призводить до зростання крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,63 рази. Збільшення величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  від 0,02 мм до 0,1 мм призводить до зменшення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,81 рази, а збільшення радіуса ролика  $R_2$  від 10 мм до 14 мм призводить до зростання крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,18 рази.

### **2.3. Висновки**

Проведено дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами. Розроблено спеціальний інструмент для розкочування внутрішніх канавок роликами. Встановлено взаємозв'язок конструктивних параметрів процесу розкочування внутрішніх канавок із його силовими параметрами.

Розглянуто узагальнений випадок, коли радіус  $R_1$  при вершині ролика є більшим за радіус  $R$  попередньо розточеної канавки, при цьому центр радіусної поверхні при вершині ролика зміщений відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки на величину  $k$ . Внаслідок цього товщина  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки має змінну величину вздовж дуги канавки. Знайдено залежність товщини  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки від геометричних параметрів ролика та канавки, побудовано відповідні графіки.

При збільшенні кута  $\beta$  контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі товщина  $\Delta$  деформованого шару металу зростає. Найменша товщина  $\Delta$  деформованого шару металу присутня при вершині канавки, а найбільша - при основі і наближається до різниці радіусів  $R_1$  при вершині ролика та радіуса  $R$  попередньо розточеної канавки. При величині  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки, що дорівнює різниці радіусів  $R_1$  при вершині ролика та радіуса  $R$  попередньо розточеної канавки деформація матеріалу при вершині канавки не відбувається.

При збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки товщина  $\Delta$  деформованого шару металу зменшується. Найбільше зменшення величини  $\Delta$  відбувається для кута контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі  $\beta=0$  град, а найменше – для  $\beta=90$  град.

При збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки площа зони деформації зменшується. При збільшенні радіуса  $R_1$  при вершині ролика площа зони деформації збільшується. При збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки сила  $F$  розкочування канавки зменшується.

Представлено результати експериментальних досліджень крутного

моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із двома роликами. Визначено, що найбільший вплив на крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок має величина зміщення центру радіусної поверхні  $k$ . Менший вплив має радіус при вершині ролика  $R_1$  і найменший – радіус ролика  $R_2$ . При збільшенні радіуса при вершині ролика  $R_1$ , радіуса ролика  $R_2$  крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок зростає, а при збільшенні величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  – зменшується.

Максимальне значення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок становить 305,80 Н·м, а мінімальне – 87,71 Н·м. Збільшення радіуса при вершині ролика  $R_1$  від 1,6 мм до 2,6 мм призводить до зростання крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,63 рази. Збільшення величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  від 0,02 мм до 0,1 мм призводить до зменшення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,81 рази, а збільшення радіуса ролика  $R_2$  від 10 мм до 14 мм призводить до зростання крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,18 рази.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 737186.140 є базовим елементом вибухозахищеного лампового світильника з основним призначенням - взаємне розміщення і захист елементів світильника.

Основними поверхнями деталі є: отвір  $\varnothing 57H9^{(+0,074)}$ ; Ra2,1 – призначений для встановлення світлорозсіюючої захисної труби, яка захищає джерело світла та розсіює світло; отвір  $\varnothing 42,5H14^{(+0,62)}$ ; Ra12,1 – для встановлення труби, через яку проводять струмопровідний кабель; три різеві отвори M6-7H; Ra6,3 – для кріплення кришки; дев’ять різевих отворів M4-7H; Ra6,3 – для кріплення електричних елементів світильника: гвинтів заземлення, світлорегулюючої апаратури; чотири отвори  $\varnothing 5,2H14^{(+0,3)}$ ; Ra12,1 – для кріплення кришки; торцева поверхня  $50\pm 0,25$ ; Rz50 – для забезпечення щільного контакту з кришкою та правильного взаємного розміщення елементів світильника; два отвори  $\varnothing 22H14^{(+0,52)}$ ; Ra12,1 – для кріплення сальників; контурний паз 3,5, Ra12,1 – для встановлення ущільнювачів; криволінійна поверхня R182, Ra12,1 для точного приєднання екструдованого профільного корпусу із пускорегулюючою апаратурою.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

| Номер поверхні | Назва поверхні                                                              | Квалітет | Шорсткість |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 1              | 2                                                                           | 3        | 4          |
| 1              | Отвір $\varnothing 42,5H14^{(+0,62)}$ ; $67\pm 0,2$ ; 2,5                   | 14       | Ra12,1     |
| 2              | Отвір $\varnothing 57H9^{(+0,074)}$ ; $67\pm 0,2$ ; 2,5                     | 9        | Ra2,1      |
| 3-6            | Чотири отвори $\varnothing 5,2H14^{(+0,3)}$ ; $54\pm 0,2$ ; $59\pm 0,2$ ; 5 | 14       | Ra12,1     |
| 7              | Внутрішня криволінійна поверхня $74\pm 0,2$ ; R182 $\pm 0,5$                | 14       | Ra12,1     |

Продовження таблиці 3.1

| 1      | 2                                                                                                                                            | 3                               | 4      |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------|
| 8-10   | Три отвори глухі $\varnothing 4,95^{+0,26}$<br>під різь М6-7Н; $l=14^{+0,43}$ ; $94\pm 0,2$ ;<br>$145\pm 0,3$                                | 14                              | Ra12,1 |
| 11     | Торцева поверхня $7\pm 0,2$                                                                                                                  | 14                              | Ra12,1 |
| 12-16  | П'ять отворів глухих $\varnothing 3,3^{+0,12}$<br>під різь М4-7Н; $l=10^{+0,36}$ ; $76\pm 0,2$ ;<br>$88\pm 0,2$ ; $50\pm 0,2$ ; $103\pm 0,2$ | 12                              | Ra6,3  |
| 17, 18 | Два отвори глухих $\varnothing 3,3^{+0,12}$<br>під різь М4-7Н; $l=10^{+0,36}$ ; $96\pm 0,2$ ;<br>$97\pm 0,2$                                 | 12                              | Ra6,3  |
| 19, 20 | Два отвори глухих $\varnothing 3,3^{+0,12}$<br>під різь М4-7Н; $l=10^{+0,36}$ ; $90\pm 0,2$ ;<br>$67\pm 0,2$                                 | 12                              | Ra6,3  |
| 21, 22 | Два отвори $\varnothing 22H14(^{+0,52})$ ; $24\pm 0,2$                                                                                       | 14                              | Ra12,1 |
| 23-25  | Три внутрішні фаски $1\times 45^\circ$ $94\pm 0,2$ ;<br>$145\pm 0,3$                                                                         | 14                              | Ra12,1 |
| 26-30  | П'ять внутрішніх фасок $0,5\times 45^\circ$<br>$76\pm 0,2$ ; $88\pm 0,2$ ; $50\pm 0,2$ ; $103\pm 0,2$                                        | 14                              | Ra12,1 |
| 31, 32 | Дві внутрішні фаски $0,5\times 45^\circ$ $96\pm 0,2$ ;<br>$97\pm 0,2$                                                                        | 14                              | Ra12,1 |
| 33, 34 | Дві внутрішні фаски $0,5\times 45^\circ$ $90\pm 0,2$ ;<br>$67\pm 0,2$                                                                        | 14                              | Ra12,1 |
| 35-37  | Три різевих глухих отвори М6-7Н;<br>$l=8\text{min}$ ; $94\pm 0,2$ ; $145\pm 0,3$                                                             | 12                              | Ra6,3  |
| 38-42  | П'ять різевих глухих отворів М4-7Н;<br>$l=6\text{min}$ ; $76\pm 0,2$ ; $88\pm 0,2$ ; $50\pm 0,2$ ;<br>$103\pm 0,2$                           | 12                              | Ra6,3  |
| 43, 44 | Два різеві глухі отвори М4-7Н;<br>$l=6\text{min}$ ; $96\pm 0,2$ ; $97\pm 0,2$                                                                | 12                              | Ra6,3  |
| 45, 46 | Два різеві глухі отвори М4-7Н;<br>$l=6\text{min}$ ; $90\pm 0,2$ ; $67\pm 0,2$                                                                | 12                              | Ra6,3  |
| 47     | Криволінійний торцевий паз $b=3,5$ ;<br>$4,5\pm 0,1$                                                                                         | Не підлягає<br>обробці різанням | Rz50   |
| 48     | Зовнішня поверхня $249\pm 0,5$ ;<br>$137,6\pm 0,5$                                                                                           | Не підлягає<br>обробці різанням | Rz50   |
| 49, 50 | Торцева поверхня $50\pm 0,25$                                                                                                                | Не підлягає<br>обробці різанням | Rz50   |
| 51, 52 | Два отвори наскрізні $\varnothing 4,95^{+0,26}$<br>під різь М6-7Н; $l=12^{+0,43}$ ; $10\pm 0,2$                                              | 14                              | Ra12,1 |

### Закінчення таблиці 3.1

| 1      | 2                                                                          | 3  | 4      |
|--------|----------------------------------------------------------------------------|----|--------|
| 53, 54 | Два різевих наскрізних отвори М6-7Н; l=12; 10±0,2                          | 12 | Ra6,3  |
| 55     | Отвір глухий Ø3,3 <sup>+0,12</sup><br>під різь М4-7Н; l=8 <sup>+0,36</sup> | 12 | Ra6,3  |
| 56     | Різовий глухий отвір М4-7Н; l=6min;<br>20±0,2                              | 12 | Ra6,3  |
| 57, 58 | Дві внутрішні фаски 1×45°                                                  | 14 | Ra12,1 |
| 59     | Внутрішня фаска 0,5×45°                                                    | 14 | Ra12,1 |

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Деталь “Корпус” 737186.140 виготовляється із сплаву АК12, що характеризується добрими ливарними властивостями. Під час аналізу способів виготовлення заготовок розглянуто такі два способи:

- 1) литво під тиском;
- 2) литво у піщані форми.

Оскільки форма деталі є складною, визначення маси заготовки використано формулу:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

$q = 0,44$  кг – маса деталі;

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.2)$$

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

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

Розраховуємо об’єми припусків для двох альтернативних варіантів:

- литво під тиском:

$$V_{\text{np1}} = \frac{\pi \cdot (57^2 - 53^2) \cdot 2,5}{4} = 864 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np2}} = \frac{\pi \cdot (42,5^2 - 40,1^2) \cdot 2,5}{4} = 389 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np3}} = \frac{\pi \cdot (22^2 - 20^2) \cdot 2,5}{4} \cdot 2 = 329,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np4}} = 9 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 10}{4} = 1130 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np5}} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 14}{4} = 1187 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np6}} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 5,2^2 \cdot 2,5}{4} = 212,3 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np7}} = (74^2 - 58 \cdot 65) \cdot 1 + (74^2 - 71,6^2) \cdot 6 = 3802,64 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{np}} = \sum V_{\text{np}_i};$$

$$V_{\text{np}} = 864 + 389 + 329,7 + 1130 + 1187 + 212,3 + 3802,64 = 7914,64 \text{ мм}^3 = \\ = 7,92 \text{ см}^3.$$

- литво у піщані форми:

$$V_{\text{np1}} = \frac{\pi \cdot (57^2 - 44^2) \cdot 2,5}{4} = 2577 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np2}} = \frac{\pi \cdot (42,5^2 - 32,5^2) \cdot 2,5}{4} = 1472 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np3}} = \frac{\pi \cdot (22^2 - 13,6^2) \cdot 2,5}{4} \cdot 2 = 1173,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np4}} = 9 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 10}{4} = 1130 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np5}} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 14}{4} = 1187 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np6}} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 5,2^2 \cdot 2,5}{4} = 212,3 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = (74^2 - 58 \cdot 65) \cdot 3,2 + (74^2 - 64^2) \cdot 3,8 = 10703,2 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}_i};$$

$$\begin{aligned} V_{\text{пр}} &= 2577 + 1472 + 1173,7 + 1130 + 1187 + 212,3 + 10703,2 = \\ &= 18455,2 \text{ мм}^3 = 18,46 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Корпус” 737186.140

| Оброблювана поверхня,<br>її розмір, точність        | Параметр<br>шорсткості<br>деталі, мкм | Допуск<br>заготовки,<br>мм | Загальний<br>припуск,<br>мм | Розмір<br>заготовки із<br>граничними<br>відхиленнями |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|
| 1                                                   | 2                                     | 3                          | 4                           | 5                                                    |
| 1) литво під тиском                                 |                                       |                            |                             |                                                      |
| Внутрішня криволінійна<br>поверхня 74±0,2; R182±0,5 | Ra12,1                                | 1,1                        | 1,2 × 2 = 2,4               | 71,6±0,55<br>R180,8±0,55                             |
| Отвір Ø57H9(+0,074)                                 | Ra2,1                                 | 1,0                        | 2,0 × 2 = 4,0               | Ø53±0,5                                              |
| Отвір Ø42,5H14(+0,62)                               | Ra12,1                                | 1,0                        | 1,2 × 2 = 2,4               | Ø40,1±0,5                                            |
| Отвір Ø22H14(+0,52)                                 | Ra12,1                                | 0,8                        | 1,0 × 2 = 2,0               | Ø20±0,4                                              |
| Внутрішній торець 7±0,2                             | Ra12,1                                | 0,64                       | 1,0                         | 6±0,32                                               |
| 2) литво у піщані форми                             |                                       |                            |                             |                                                      |
| Внутрішня криволінійна<br>поверхня 74±0,2; R182±0,5 | Ra12,1                                | 4,4                        | 5,0 × 2 = 10,0              | 64±2,2<br>R177±2,2                                   |
| Отвір Ø57H9(+0,074)                                 | Ra12,1                                | 4,0                        | 6,5 × 2 = 13,0              | Ø44±2,0                                              |
| Отвір Ø42,5H14(+0,62)                               | Ra2,1                                 | 4,0                        | 5,0 × 2 = 10,0              | Ø32,5±2,0                                            |
| Отвір Ø22H14(+0,52)                                 | Ra12,1                                | 3,2                        | 4,2 × 2 = 8,4               | Ø13,6±1,6                                            |
| Внутрішній торець 7±0,2                             | Ra12,1                                | 2,4                        | 3,2                         | 3,8±1,2                                              |

Загальні маси припусків:

– литво під тиском:

$$m_{\text{пр1}} = 7,92 \cdot 2,7 = 21,4 \text{ г} = 0,0214 \text{ кг.}$$

– литво у піщані форми:

$$m_{\text{пр2}} = 18,46 \cdot 2,7 = 49,84 \text{ г} = 0,0498 \text{ кг.}$$

Визначаємо маси заготовок:

– литво під тиском:

$$Q_1 = 0,44 + 0,0214 = 0,4614 \text{ кг.}$$

– литво у піщані форми:

$$Q_2 = 0,44 + 0,0498 = 0,4898 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.3)$$

– литво під тиском:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,44}{0,4614} = 0,95.$$

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,44}{0,4898} = 0,89.$$

Вибираємо для умов середньосерійного типу виробництва а також характеристик поверхонь деталі спосіб виготовлення заготовки - литво під тиском.

### 3.3. Формування технологічного процесу

На основі вказаних вище даних проводимо проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 737186.140.

005. Програмна з ЧПК

2. Фрезерувати остаточно внутрішню криволінійну поверхню 7 з обробкою внутрішньої торцевої поверхні 11 по контуру по програмі, витримуючи розміри  $74 \pm 0,2$ ;  $R182 \pm 0,5$ ;  $7 \pm 0,3$ .

3. Розточити остаточно отвір 1, витримуючи розміри  $\varnothing 42,5H14(^{+0,62})$ ;  $67 \pm 0,2$ ; 2,5.

4. Розточити попередньо отвір 2, витримуючи розміри  $\varnothing 57H11(^{+0,19})$ ;

67±0,2; 2,5

5. Розточити остаточно отвір 2, витримуючи розміри  $\varnothing 57H9^{(+0,074)}$ ; 67±0,2; 2,5

6. Центрувати чотири отвори 3, 4, 5, 6 послідовно по програмі, витримуючи розміри  $\varnothing 1,6^{+0,25}$ ;  $\varnothing 3,35^{+0,3}$ ; 3, 52±0,1; 59±0,3; 49±0,25; 112,5±0,35; 54±0,3.

7. Свердлити чотири отвори 3, 4, 5, 6 послідовно по програмі, витримуючи розміри  $\varnothing 5,2H14^{(+0,3)}$ ; 52±0,1; 59±0,3; 49±0,25; 112,5±0,35; 54±0,3.

9. Перевірити розміри:  $\varnothing 5,2H14^{(+0,3)}$ ; 52±0,1; 59±0,3; 49±0,25; 112,5±0,35; 54±0,3  $\varnothing 57H9^{(+0,074)}$ ; 67±0,2  $\varnothing 42,5H14^{(+0,62)}$ ; 67±0,2; 74±0,2; R182±0,5; 7±0,3. Контроль 30%.

#### 010 Свердлильна з ЧПК

2. Центрувати дванадцять отворів 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 під різі М4-7Н та М6-7Н, витримуючи розміри  $\varnothing 1^{+0,1}$ ;  $\varnothing 2,2^{+0,1}$ ;  $1,3^{+0,1}$ ;  $0,97^{+0,06}$ ; 94±0,2; 145±0,3; 76±0,2; 88±0,2; 50±0,2; 103±0,2; 96±0,2; 97±0,2; 90±0,2; 67±0,2.

3. Свердлити три отвори 8, 9, 10 з формуванням трьох фасок 23, 24, 25 послідовно по програмі, витримуючи розміри  $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ;  $l=14^{+0,43}$ ; 94±0,2; 145±0,3;  $1 \times 45^\circ$ .

4. Свердлити дев'ять отворів 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 з формуванням дев'яти фасок 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 послідовно по програмі, витримуючи розміри  $\varnothing 3,3^{+0,12}$ ;  $l=10^{+0,36}$ ; 76±0,2; 88±0,2; 50±0,2; 103±0,2; 96±0,2; 97±0,2; 90±0,2; 67±0,2;  $0,5 \times 45^\circ$ .

5. Нарізати різь 35, 36, 37 в трьох отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М6-7Н;  $l=8\text{min}$ ; 94±0,2; 145±0,3.

6. Нарізати різь 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 в дев'яти отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М4-7Н;  $l=6\text{min}$ ; 76±0,2; 88±0,2; 50±0,2; 103±0,2; 96±0,2; 97±0,2; 90±0,2; 67±0,2;  $0,5 \times 45^\circ$ .

9. Перевірити розміри: М4-7Н;  $l=6\text{min}$ ; 76±0,2; 88±0,2; 50±0,2; 103±0,2; 96±0,2; 97±0,2; 90±0,2; 67±0,2;  $0,5 \times 45^\circ$ ; М6-7Н;  $l=8\text{min}$ ; 94±0,2; 145±0,3;  $1 \times 45^\circ$ .

Контроль 30%.

015. Вертикально-свердлильна

2. Розсвердлити отвір 21, витримуючи розміри  $\varnothing 22H14^{(+0,52)}$ ;  $24 \pm 0,2$ .

4. Перевірити розміри:  $\varnothing 22H14^{(+0,52)}$ ;  $24 \pm 0,2$ . Контроль 30%.

020. Вертикально-свердлильна

2. Розсвердлити отвір 22, витримуючи розміри  $\varnothing 22H14^{(+0,52)}$ ;  $24 \pm 0,2$

4. Перевірити розміри:  $\varnothing 22H14^{(+0,52)}$ ;  $24 \pm 0,2$ . Контроль 30%.

025 Свердлильна з ЧПК

2. Центрувати два отвори 51, 52 під різь М6-7Н, витримуючи розміри  $\varnothing 1^{+0,1}$ ;  $\varnothing 2,2^{+0,1}$ ;  $1,3^{+0,1}$ ;  $0,97^{+0,06}$ ;  $10 \pm 0,2$ .

3. Свердлити два отвори 51, 52 з формуванням двох фасок 57, 58 послідовно по програмі, витримуючи розміри  $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ;  $l=8^{+0,43}$ ;  $10 \pm 0,2$ ;  $1 \times 45^\circ$ .

4. Нарізати різь 53, 54 в двох отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М6-7Н;  $l=8\text{min}$ ;  $10 \pm 0,2$ .

6. Перевірити розміри: М6-7Н;  $l=8\text{min}$ ;  $10 \pm 0,2$ ;  $1 \times 45^\circ$ . Контроль 30%.

030. Вертикально-свердлильна

2. Свердлити отвір 55, з формуванням фаски 59, витримуючи розміри  $\varnothing 3,3^{+0,12}$ ;  $l=8^{+0,36}$ ,  $20 \pm 0,2$ ;  $0,5 \times 45^\circ$ .

4. Перевірити розміри:  $\varnothing 3,3^{+0,12}$ ;  $l=8^{+0,36}$ ,  $20 \pm 0,2$ ;  $0,5 \times 45^\circ$ . Контроль 30%.

Операція 035. Різенарізна.

2. Нарізати різь 56, витримуючи розміри М4-7Н;  $l=6\text{min}$ ;  $20 \pm 0,2$ .

4. Перевірити розміри: М4-7Н;  $l=6\text{min}$ ;  $20 \pm 0,2$ . Контроль 30%.

Операція 040. Контроль.

### **3.4. Визначення припусків на оброблення**

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

Габаритні розміри заготовки:  $249 \pm 0,5; \times 137,6 \pm 0,5$ .

Послідовність оброблення поверхні  $\varnothing 57H9^{(+0,074)}$  із припусками та допусками представлено на рис. 3.3.

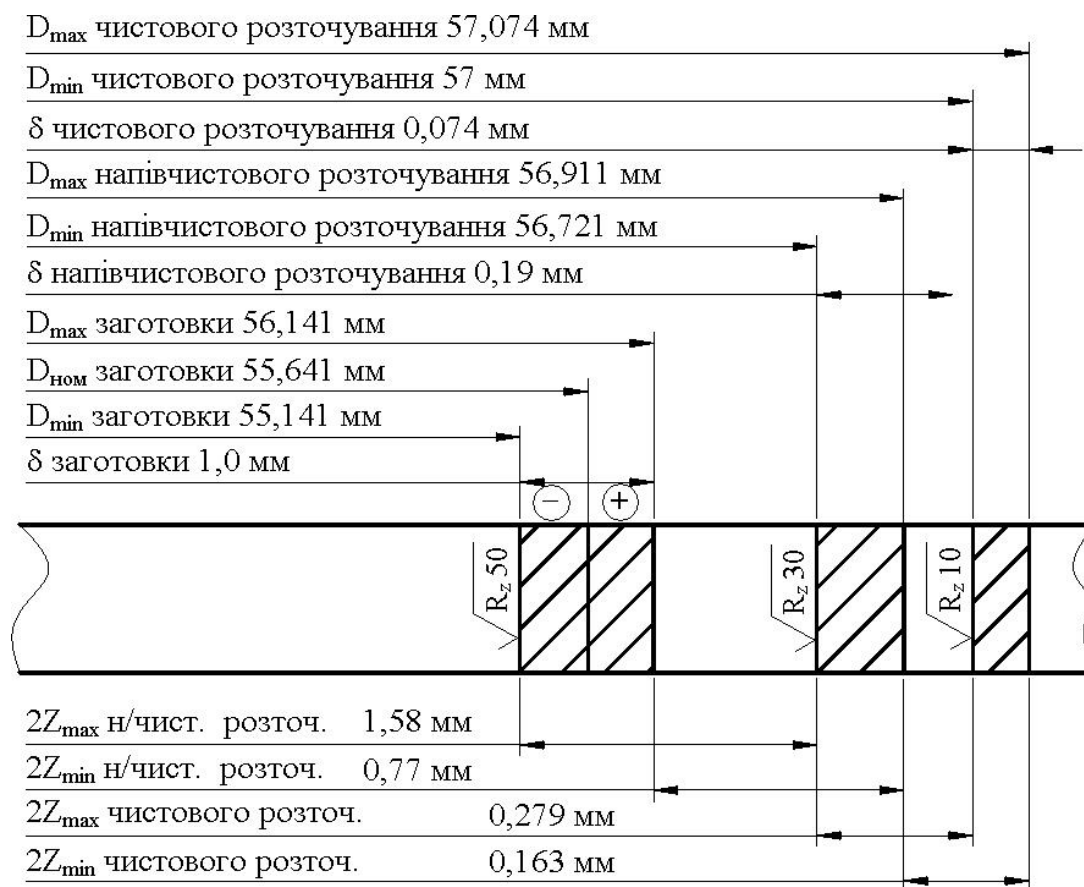


Рисунок 3.3 – Послідовність оброблення поверхні  $\varnothing 57H9^{(+0,074)}$  із припусками та допусками

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 737186.140

| 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                                                        |
| Внутрішній торець $7 \pm 0,2$                             |                             |                 |            |             |                                                          |
| Фрезерування чорнове кінцевою фрезою                      | 14                          | Ra12,1          | 0,4        | 1,0         | $7 \pm 0,2$                                              |
| Заготовка                                                 | 7- точн. розм.              | $R_z 50$        | 0,64       | —           | $6 \pm 0,32$                                             |
| Отвір $\varnothing 22H14^{(+0,52)}$                       |                             |                 |            |             |                                                          |

|                                                               |                   |                   |      |                      |                            |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|------|----------------------|----------------------------|
| Розсвердлювання                                               | 14                | Ra12,1            | 0,52 | $1,0 \times 2 = 2,0$ | $\varnothing 22^{+0,52}$   |
| Заготовка                                                     | 7- точн.<br>розм. | R <sub>z</sub> 50 | 0,8  | —                    | $\varnothing 20 \pm 0,4$   |
| Отвір $\varnothing 42,5H14^{(+0,62)}$                         |                   |                   |      |                      |                            |
| Розточування напівчистове                                     | 14                | Ra12,1            | 0,62 | $1,2 \times 2 = 2,4$ | $\varnothing 42,5^{+0,62}$ |
| Заготовка                                                     | 7- точн.<br>розм. | R <sub>z</sub> 50 | 1,0  | —                    | $\varnothing 40,1 \pm 0,5$ |
| Внутрішня криволінійна поверхня $74 \pm 0,2$ ; R182 $\pm 0,5$ |                   |                   |      |                      |                            |
| Фрезерування чорнове кінцевою фрезою                          | 14                | Ra12,1            | 0,4  | $1,2 \times 2 = 2,4$ | $74 \pm 0,2$               |
| Заготовка                                                     | 7- точн.<br>розм. | R <sub>z</sub> 50 | 1,1  | —                    | $71,6 \pm 0,55$            |

### 3.5. Визначення режимів різання

Розрахунки режимів різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737186.140 проведено аналітичними та табличними методами, оформлено у вигляді таблиці 3.5.

“Корпус” 737186.140

[illegible]

## Продовження таблиці 3.5

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2    | 3    | 4  | 5  | 6     | 7    | 8     | 9   | 10    | 11   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----|----|-------|------|-------|-----|-------|------|
| Свердли́ти чотири отвори 3, 4, 5, 6 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 5,2 \pm 0,1$ ; $52 \pm 0,1$ ; $59 \pm 0,3$ ; $49 \pm 0,25$ ; $112,5 \pm 0,35$ ; $54 \pm 0,3$ .                                                                                                                                                                                         | 2,6  | 7    | 4  | 20 | 0,162 | 2001 | 32,8  | 325 | 0,087 | 0,07 |
| 010 Свердлильна з ЧПК                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      |      |    |    |       |      |       |     |       |      |
| Перехід 2<br>Центрувати дванадцять отворів 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 під різі М4-7Н та М6-7Н, витримуючи розміри $\varnothing 1^{+0,1}$ ; $\varnothing 2,2^{+0,1}$ ; $1,3^{+0,1}$ ; $0,97^{+0,06}$ ; $94 \pm 0,2$ ; $145 \pm 0,3$ ; $76 \pm 0,2$ ; $88 \pm 0,2$ ; $50 \pm 0,2$ ; $103 \pm 0,2$ ; $96 \pm 0,2$ ; $97 \pm 0,2$ ; $90 \pm 0,2$ ; $67 \pm 0,2$ .    | 0,5  | 4,27 | 12 | 15 | 0,08  | 1401 | 4,41  | 114 | 0,46  | 0,21 |
| Перехід 3<br>Свердли́ти три отвори 8, 9, 10 з формуванням трьох фасок 23, 24, 25 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$ ; $l=14^{+0,43}$ ; $94 \pm 0,2$ ; $145 \pm 0,3$ ; $1 \times 45^\circ$ .                                                                                                                                                     | 2,5  | 21   | 3  | 15 | 0,162 | 2001 | 31,5  | 325 | 0,195 | 0,07 |
| Перехід 4<br>Свердли́ти дев'ять отворів 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 з формуванням дев'яти фасок 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$ ; $l=10^{+0,36}$ ; $76 \pm 0,2$ ; $88 \pm 0,2$ ; $50 \pm 0,2$ ; $103 \pm 0,2$ ; $96 \pm 0,2$ ; $97 \pm 0,2$ ; $90 \pm 0,2$ ; $67 \pm 0,2$ ; $0,5 \times 45^\circ$ . | 1,65 | 14   | 8  | 15 | 0,162 | 2001 | 20,8  | 325 | 0,4   | 0,04 |
| Перехід 5<br>Нарі́зати різь 35, 36, 37 в трьох отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М6-7Н; $l=8 \text{ min}$ ; $94 \pm 0,2$ ; $145 \pm 0,3$ .                                                                                                                                                                                                                        | 0,54 | 29   | 3  | 20 | 1,0   | 561  | 10,56 | 561 | 0,17  | 0,07 |

Продовження таблиці 3.5

| 1                                                                                                                                                                                                                              | 2     | 3    | 4 | 5  | 6     | 7    | 8     | 9   | 10    | 11   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|---|----|-------|------|-------|-----|-------|------|
| <p>Перехід 6</p> <p>Нарізати різь 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 в дев'яти отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М4-7Н; l=6min; 76±0,2; 88±0,2; 50±0,2; 103±0,2, 96±0,2; 97±0,2; 90±0,2; 67±0,2; 0,5×45°.</p> | 0,379 | 16,1 | 8 | 15 | 0,7   | 711  | 8,91  | 498 | 0,3   | 0,05 |
| 015 Вертикально-свердлильна                                                                                                                                                                                                    |       |      |   |    |       |      |       |     |       |      |
| <p>Перехід 2</p> <p>Розсвердлити отвір 21, витримуючи розміри Ø22Н14<sup>(+0,52)</sup>; 24±0,2</p>                                                                                                                             | 1,0   | 8,5  | 1 | 40 | 0,3   | 561  | 38,8  | 169 | 0,052 | 0,11 |
| 020 Вертикально-свердлильна                                                                                                                                                                                                    |       |      |   |    |       |      |       |     |       |      |
| <p>Перехід 2</p> <p>Розсвердлити отвір 22, витримуючи розміри Ø22Н14<sup>(+0,52)</sup>; 24±0,2</p>                                                                                                                             | 1,0   | 8,5  | 1 | 40 | 0,3   | 561  | 38,8  | 169 | 0,052 | 0,11 |
| 025 Свердлильна з ЧПК                                                                                                                                                                                                          |       |      |   |    |       |      |       |     |       |      |
| <p>Перехід 2</p> <p>Центрувати два отвори 51, 52 під різь М6-7Н, витримуючи розміри Ø1<sup>+0,1</sup>; Ø2,2<sup>+0,1</sup>; 1,3<sup>+0,1</sup>; 0,97<sup>+0,06</sup>; 10±0,2.</p>                                              | 0,5   | 4,27 | 2 | 15 | 0,08  | 1401 | 4,5   | 114 | 0,09  | 0,21 |
| <p>Перехід 3</p> <p>Свердлити два отвори 51, 52 з формуванням двох фасок 57, 58 послідовно по програмі, витримуючи розміри Ø4,95<sup>+0,26</sup>; l=10<sup>+0,43</sup>; 10±0,2; 1×45°</p>                                      | 2,5   | 21   | 2 | 15 | 0,162 | 2001 | 31,5  | 325 | 0,14  | 0,07 |
| <p>Перехід 4</p> <p>Нарізати різь 53, 54 в двох отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М6-7Н; l=8min; 10±0,2.</p>                                                                                                  | 0,54  | 29   | 2 | 20 | 1,0   | 561  | 10,56 | 561 | 0,21  | 0,07 |

Закінчення таблиці 3.5

| 1                                                                                                                                                                        | 2     | 3    | 4 | 5  | 6     | 7    | 8    | 9   | 10    | 11   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|---|----|-------|------|------|-----|-------|------|
| 030 Вертикально-свердлильна                                                                                                                                              |       |      |   |    |       |      |      |     |       |      |
| Перехід 2<br>Свердлити отвір 55, з<br>формуванням фаски 59,<br>витримуючи розміри<br>$\varnothing 3,3^{+0,12}$ ; $l=8^{+0,36}$ , $20\pm 0,2$ ;<br>$0,5\times 45^\circ$ . | 1,65  | 14   | 1 | 15 | 0,162 | 2001 | 20,8 | 325 | 0,051 | 0,04 |
| 035 Різенарізна                                                                                                                                                          |       |      |   |    |       |      |      |     |       |      |
| Перехід 2<br>Нарізати різь 56,<br>витримуючи розміри<br>М4-7Н; $l=6\text{min}$ ; $20\pm 0,2$ .                                                                           | 0,379 | 16,1 | 1 | 15 | 0,7   | 711  | 9    | 498 | 0,11  | 0,04 |

Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737186.140 проведено аналітичними та табличними методами подано у вигляді таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).

Таблиця 3.6 – Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737186.140

| Номер<br>та назва<br>операції      | T <sub>о</sub> ,<br>хв | Допоміжний<br>час, T <sub>д</sub> хв |                   |                   | T <sub>оп</sub> ,<br>хв | T <sub>ц</sub> ,<br>хв | Час обслуго-<br>вування, T <sub>об</sub> , хв |                      |                    | T <sub>шт</sub> ,<br>хв. | T <sub>п.з.</sub> ,<br>хв. | n,<br>шт | T <sub>шт.к.</sub> ,<br>хв |
|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------|----------------------------|
|                                    |                        | T <sub>у.</sub>                      | T <sub>пер.</sub> | T <sub>внм.</sub> |                         |                        | T <sub>тех.об.</sub>                          | T <sub>орг.об.</sub> | T <sub>відп.</sub> |                          |                            |          |                            |
| 1                                  | 2                      | 3                                    | 4                 | 5                 | 6                       | 7                      | 8                                             | 9                    | 10                 | 11                       | 12                         | 13       | 14                         |
| 005<br>Програмна<br>з ЧПК          | 1,777                  | 0,247                                | 0,84              | 0,444             | 3,868                   | 2,337                  | 0,308                                         |                      |                    | 4,22                     | 59,16                      | 214      | 4,5                        |
| 010<br>Свердлильна<br>з ЧПК        | 1,353                  | —                                    | —                 | —                 | —                       | —                      | —                                             | —                    | —                  | —                        | —                          |          | 2,55                       |
| 015<br>Вертикально-<br>свердлильна | 0,051                  | —                                    | —                 | —                 | —                       | —                      | —                                             | —                    | —                  | —                        | —                          |          | 0,11                       |
| 020<br>Вертикально-<br>свердлильна | 0,051                  | —                                    | —                 | —                 | —                       | —                      | —                                             | —                    | —                  | —                        | —                          |          | 0,11                       |
| 025<br>Свердлильна<br>з ЧПК        | 0,4                    | —                                    | —                 | —                 | —                       | —                      | —                                             | —                    | —                  | —                        | —                          |          | 0,69                       |

Закінчення таблиці 3.6

| 1                                  | 2     | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14   |
|------------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|------|
| 030<br>Вертикально-<br>свердлильна | 0,05  | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  |    | 0,11 |
| 035<br>Різенарізна                 | 0,051 | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  |    | 0,27 |

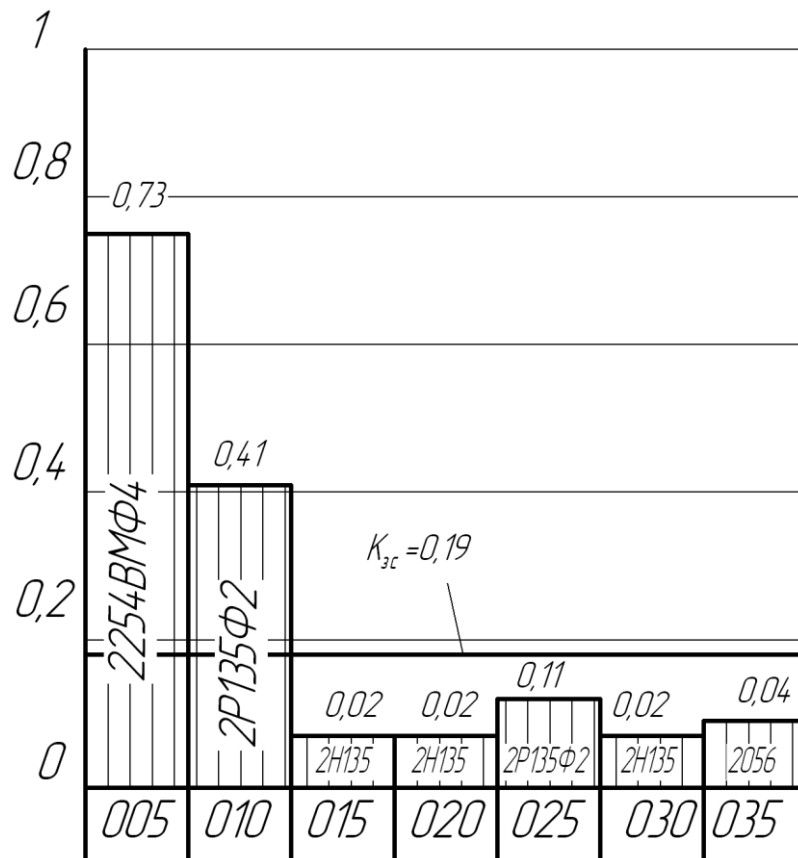


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

### 3.6. Розрахунок пристосування

З метою закріплення та базування деталі “Корпус” 737186.140 на 005 програмній з ЧПК операції спроектовано спеціальне оснащення. Базування заготовки здійснюється на призму 23 по радіусній зовнішній поверхні R58 і на базу 24 – торцевою плоскою поверхнею. Затиск здійснюється штоком 20 від пневмоциліндра двохсторонньої дії. Креслення запропонованого пристрою відображено у графічній частині роботи та у додатках.

Для визначення похибки установки заготовки у вказаному пристрої застосовано відоме рівняння [11]:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2}. \quad (3.4)$$

На 005 програмній з ЧПК операції проводиться розточування отвору в розмір  $\varnothing 57\text{H}9^{(+0,074)}$ ;  $67 \pm 0,2$  на висоті  $50 \pm 0,29\text{мм}$ .

Точність розміру  $\varnothing 57\text{H}9^{(+0,074)}$  визначається точністю процесу розточування.

Похибка радіального базування  $\Delta \varepsilon_{61}$  на розмір [11]:

$$\Delta \varepsilon_{6.1} = 0,5TD \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (3.5)$$

де TD – допуск на діаметральний розмір бази  $\varnothing 116\text{h}14_{(-0,87)}$ , TD = 0,87 мм.

$\alpha$  – кут призми, при  $2\alpha = 120^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$ .

Тоді, 
$$\Delta \varepsilon_{6.1} = 0,5 \cdot 0,87 \frac{1}{\sin 60^\circ} = 0,502\text{мм} = 502\text{мкм}.$$

Розміщення отворів визначається розміром  $82 \pm 0,3$  мм з допуском 0,6мм.

Похибка базування в осьовому напрямку із базуванням по розміру  $50 \pm 0,2$ :  $\Delta \varepsilon_{62} = 0,4\text{мм}$ .

Похибка закріплення складе  $\Delta \varepsilon_3 = 80$  мкм.

Похибка пристосування  $\Delta \varepsilon_{\text{пр}} = 0,04$  мм.

Підставляємо дані у формулу (3.4) та одержуємо:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0,502^2 + 0,08^2 + 0,04^2} = 0,510\text{мм}.$$

Визначення сили затиску заготовки проведено при чорновому розточуванні отвору  $\varnothing 57\text{мм}$  на програмній з ЧПК операції 005.

Розрахункову схему затиску деталі “Корпус” 737186.140 представлено на рис. 3.5.

Необхідна сила для затиску заготовки [11]:

$$P_z = \frac{k \cdot M_{кр} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{D_z \cdot f_2} . \quad (3.6)$$

де  $f_2 = 0,16$ ;  $\alpha = 120^\circ$ .

Крутний момент при розточуванні [11]:

$$M_{кр} = P_z \cdot r . \quad (3.7)$$

Сила різання при розточуванні [16]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p , \quad (3.8)$$

де  $C_p = 40$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = 0$ ;

$t = 0,79$  мм;

$S = 0,49$  мм/об;

$V = 185,7$  м/хв;

$K_p = 1,0$ .

На основі формули (3.8) одержуємо:

$$P_z = 10 \cdot 40 \cdot 0,79^{1,0} \cdot 0,49^{0,75} \cdot 185,7^0 = 185 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт запасу  $k = 2,25$ .

Крутний момент при розточуванні (3.7):

$$M_{кр} = 185 \cdot 0,028 = 5,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідна сила для затиску заготовки:

$$P_3 = \frac{2,25 \cdot 5,18 \cdot \sin \frac{120}{2}}{0,116 \cdot 0,16} = 543,8 \text{ Н.}$$

Сила штовхання на штоці пневмоциліндра [11]:

$$F = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.9)$$

$$F = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,02^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2689,2 \text{ Н.}$$

Сила затиску заготовки від пневмоциліндра через передавально-підсилюючий механізм [11]:

$$W = \frac{F}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma) + f_3 + f_4} \cdot \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.10)$$

де  $\gamma = 30^\circ$ ;  $f_3 = 0,16$ ;  $f_4 = 0,1$ ;  $l_1 = 50 \text{ мм}$ ;  $l_2 = 43 \text{ мм}$ ;  $\eta = 0,9$ .

Кут втрат на тертя у шарнірах:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{f \cdot d}{L}\right), \quad (3.11)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{0,16 \cdot 10}{83}\right) = 1,1 \text{ град.}$$

$$\text{Тоді } W = \frac{2689,2}{\operatorname{tg}(30 + 1,1) + 0,16 + 0,1} \cdot \frac{50}{43} \cdot 0,9 = 3260 \text{ Н.}$$

При умові  $W = 3260 \text{ Н} > P_{\text{зат}} = 543,8 \text{ Н}$ , забезпечено вимогу надійного закріплення заготовки.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Розробка заходів конструкторського і організаційного плану для боротьби із шумом**

Боротьба із шумом на виробництві є однією з найскладніших проблем, оскільки джерела шуму різноманітні й потребують комплексу заходів технічного, організаційного і медичного характеру на всіх стадіях проектування, будівництва, експлуатації машин і устаткування. Відомі три основні напрямки боротьби з шумом:

1. Зменшення рівня шуму у джерелі виникнення, застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів.
2. Звукоізоляція устаткування за допомогою глушників, резонаторів, кожухів, захисних конструкцій, оздоблення стін, стелі, підлоги тощо.
3. Використання засобів індивідуального захисту.

Дуже часто як супутній фактор шуму на робочих місцях виникає вібрація, тому система профілактичних засобів зниження шуму є комплексною проблемою загального захисту працюючих від механічних коливань.

Технологічні заходи охоплюють характеристику і розміщення устаткування і машин, вимоги до розрахунку характеристик шуму на стадії проектування, обмеження шуму звукопоглинаючих конструкцій і екранів, фільтровентиляційних установок, заміну технологічних процесів і механізмів на менш шумні, обладнання звукоізолюючих кабін операторів, дистанційне керування обладнанням, автоматизацію виробничих процесів зі зменшенням кількості операторів тощо.

Планувальні заходи передбачають ізоляцію шумних цехів від тихих приміщень, збільшення відстані між ними (на стадії проектування виробництва), розташування шумних цехів з підвітряного боку і торцем до фасаду інших будівель. Зелені насадження навколо шумних цехів і шумозахисна зона так само сприяють поглинанню шуму.

У виробничих умовах поряд із звукоізоляцією широко застосовують засоби звукопоглинання. З метою поглинання шуму приміщеннями цехів малого об'єму (400—500 м<sup>3</sup>) їх оздоблюють пористими матеріалами. Позитивний ефект звукопоглинання дає застосування мінеральних плит, матів з базальтового волокна, штукатурки пінистої або зернистої структури тощо. У приміщеннях великого об'єму ефективні звукопоглинаючі бар'єри і об'ємні поглиначі (куби, конуси тощо), які підвішують над шумними агрегатами для зниження рівня шуму на 5-12 дБ. Застосування звукопоглинаючих матеріалів у комплексі із заміною устаткування в окремих випадках знижує рівень шуму до нормативного (ткацькі цехи).

У боротьбі з аеродинамічним шумом (вихлопи і всмоктування повітря пневматичними інструментами, компресорами, вентиляторами тощо) застосовують глушники різної конструкції, які поглинають шум вихлопу або всмоктування повітря, газів і парів. Вибір типу глушника залежить від рівня і спектрального складу шуму. Для гасіння високочастотного шуму застосовують активні глушники, в основу яких покладено принцип звукової енергії, для гасіння низькочастотного шуму — реактивні глушники, що працюють як акустичний фільтр. Якщо немає змоги забезпечити дотримання вимог технічного характеру, важливого значення набувають організаційно-профілактичні заходи — застосування індивідуальних засобів захисту органів слуху.

Засоби індивідуального захисту від шуму — протишуми використовують тоді, коли технічні засоби не забезпечують його зниження до безпечного рівня. Тип засобу протишуму вибирають за рівнем і спектром шуму. Застосовують десятки варіантів вкладишів (втулки, тампони тощо), навушники і шоломи для ізоляції зовнішнього слухового ходу від шуму різного спектрального складу. До протишумових вкладишів, які вставляють у слуховий хід, належать заглушки у вигляді тампонів, гумові ковпачки, циліндри із спеціального пінопласту, пластичні вкладиші (виготовлені індивідуально за формою слухового ходу), а також вкладиші одноразового використання. Ефективними

вважаються вкладиші із суміші волокон органічної бактерицидної вати і ультратонких полімерних волокон — беруши.

Зручними щодо експлуатації і гігієни є протишумові навушники. Протишумові шоломи — громіздкі й дорогі, їх використовують при дуже високих рівнях шуму в комбінації з навушниками і протишумовими костюмами. Використання засобів протишуму дає змогу уникнути не тільки зниження слуху, а й порушення функцій нервової системи.

Зменшення тривалості контакту з шумом, застосування раціонального режиму праці та відпочинку, періодичного короткочасного відпочинку від шуму протягом робочого дня, суміщення професій в умовах шуму і його відсутності значно знижують негативний вплив шуму. Для профілактики несприятливого впливу імпульсного шуму рекомендується заповнювати паузи між імпульсами рівним фоновим шумом. При цьому різниця між рівнями фону та імпульсного шуму не повинна перевищувати 20 дБ. З метою підготовки працівника до чергового імпульсу шуму використовують світлові застережні сигнали.

#### **4.2. Організація і проведення евакуаційних заходів**

Евакуація проводиться на державному, регіональному, місцевому або об'єктовому рівні. Залежно від особливостей надзвичайних ситуацій (НС) встановлено такі види евакуації: обов'язкова, загальна або часткова, тимчасова або безповоротна [26]. Рішення про проведення евакуації приймають КМУ, обласні державні адміністрації, райдержадміністрації, органи місцевого самоврядування, керівники об'єктів господарювання. У невідкладних випадках керівник робіт з ліквідації наслідків НС, а в разі його відсутності — керівник аварійно-рятувальної служби, який першим прибув у зону НС, може прийняти рішення про проведення екстреної евакуації населення із зони НС або зони можливого ураження. Обов'язкова евакуація населення проводиться у разі виникнення загрози:

- аварій з викидом радіоактивних та небезпечних хімічних речовин;
- катастрофічного затоплення місцевості;
- масових лісових і торф'яних пожеж, землетрусів, зсувів, інших геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів;
- збройних конфліктів (з районів можливих бойових дій у безпечні райони, які визначаються Міністерством оборони України на особливий період).

Залежно від умов, що склалися, евакуація може проводитись в межах окремого регіону з території, що підлягає впливу НС техногенного чи природного характеру, або з усіх міст та промислових районів - при загрозі виникнення війни. Переміщення великої кількості людей в короткі строки в складних умовах і на значні відстані вимагає організованості та керованості процесом на всіх його етапах з метою своєчасного проведення і запобігання проявів паніки і недопущення загибелі людей.

Населення, що підлягає евакуації, поділяється на дві категорії. До першої категорії відносяться робітники і службовці підприємств і установ, що будуть працювати під час війни, продукція яких потрібна для оборони, робітники комунальних підприємств міста. Захист робітників працюючої зміни забезпечується в сховищах на об'єктах. Захист членів сімей і робітників непрацюючої зміни забезпечується в заміській зоні. Для цієї категорії населення евакуаційні заходи називають розосередженням робітників і службовців, що діють за принципом: жити за межами міста, працювати в місті. Тому для них райони розміщення призначаються ближче до міста, поряд з транспортними магістралями з урахуванням того, щоб час на проїзд до роботи і назад в заміську зону не перевищував 4-5 годин. Евакуацією називають вивіз або вивід з міста в заміську зону решти населення, тобто робітників і службовців об'єктів, що припиняють роботу під час війни або переносять її в заміську зону, і непрацюючого населення. Евакуйоване населення постійно мешкає в заміській зоні до особливого розпорядження.

Розосередження та евакуація проводяться в період загрози нападу ворога. Після розосередження та евакуації в містах залишається лише робоча зміна.

Основні способи розосередження та евакуації: а) вивіз населення транспортом; б) вивід пішою дорогою; в) комбінований, при якому вивід населення з міста пішки поєднується з вивозом деяких категорій населення. Транспортом вивозяться: робітники працюючих об'єктів, формування цивільного захисту, інваліди, хворі, жінки з дітьми до 10 років. Розосередження та евакуація робочих, службовців, членів їх сімей планується і організується за територіально-виробничим принципом, тобто робітники по об'єктам господарювання, а населення, що не має відношення до виробництва, - за місцем проживання через житлово-експлуатаційні організації. Евакуйоване населення, робітники і службовці працюючих підприємств розміщують в заміській зоні на житловій площі місцевих жителів, в пристосованих для мешкання службових та виробничих будівлях, клубах, будинках відпочинку, пансіонатах, дачних селищах. Робітників і службовців працюючих в містах підприємств розміщують ближче до міст, вздовж магістралей. Евакуйоване населення розміщують в більш віддалених районах.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження процесу розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із роликами. Розроблено спеціальний інструмент для розкочування внутрішніх канавок роликами. Встановлено взаємозв'язок конструктивних параметрів процесу розкочування внутрішніх канавок із його силовими параметрами.

Розглянуто узагальнений випадок, коли радіус  $R_1$  при вершині ролика є більшим за радіус  $R$  попередньо розточеної канавки, при цьому центр радіусної поверхні при вершині ролика зміщений відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки на величину  $k$ . Внаслідок цього товщина  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки має змінну величину вздовж дуги канавки. Знайдено залежність товщини  $\Delta$  деформованого шару металу на поверхні канавки від геометричних параметрів ролика та канавки, побудовано відповідні графіки.

При збільшенні кута  $\beta$  контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі товщина  $\Delta$  деформованого шару металу зростає. Найменша товщина  $\Delta$  деформованого шару металу присутня при вершині канавки, а найбільша - при основі і наближається до різниці радіусів  $R_1$  при вершині ролика та радіуса  $R$  попередньо розточеної канавки. При величині  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки, що дорівнює різниці радіусів  $R_1$  при вершині ролика та радіуса  $R$  попередньо розточеної канавки деформація матеріалу при вершині канавки не відбувається.

При збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки товщина  $\Delta$  деформованого шару металу зменшується. Найбільше зменшення величини  $\Delta$  відбувається для кута контакту між поверхнями ролика та канавки в поперечному перерізі  $\beta=0$  град, а найменше – для  $\beta=90$  град.

При збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при

вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки площа зони деформації зменшується. При збільшенні радіуса  $R_1$  при вершині ролика площа зони деформації збільшується. При збільшенні величини  $k$  зміщення центру радіусної поверхні при вершині ролика відносно радіусної поверхні попередньо розточеної канавки сила  $F$  розкочування канавки зменшується.

Представлено результати експериментальних досліджень крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок спеціальним інструментом із двома роликами. Визначено, що найбільший вплив на крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок має величина зміщення центру радіусної поверхні  $k$ . Менший вплив має радіус при вершині ролика  $R_1$  і найменший – радіус ролика  $R_2$ . При збільшенні радіуса при вершині ролика  $R_1$ , радіуса ролика  $R_2$  крутний момент  $M$  розкочування внутрішніх канавок зростає, а при збільшенні величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  – зменшується.

Максимальне значення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок становить 305,80 Н·м, а мінімальне – 87,71 Н·м. Збільшення радіуса при вершині ролика  $R_1$  від 1,6 мм до 2,6 мм призводить до зростання крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,63 рази. Збільшення величини зміщення центру радіусної поверхні  $k$  від 0,02 мм до 0,1 мм призводить до зменшення крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,81 рази, а збільшення радіуса ролика  $R_2$  від 10 мм до 14 мм призводить до зростання крутного моменту  $M$  розкочування внутрішніх канавок в 1,18 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 737186.140.

## 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. Balland P, Tabourot L, Degre F, Moreau V. Mechanics of the burnishing process. *Precis Eng.* 2013. 37. p. 129–134.
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. Revankar D.G., Shetty R., Shrikantha S., Rao S.S., Gaitonde N.V. Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing oftitanium alloy. *Measurement.* 2014. 58. p. 256–268.
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. Приказюк В.М., Тримбашевський М.А., Свистун П.А. Дослідження динаміки нарізання торцевої канавки. 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. 126.
18. El-Axir M.H. An investigation into the ball burnishing of aluminium alloy 6061- T6. *Proc Inst Mech Eng B: J Eng Manuf.* 2007. 221. p. 1733–1742.
19. Bougharriou A, Sai W.B., Sai K. Prediction of surface characteristics obtained by burnishing. *Int J Adv Manuf Technol.* 2010. 51. p. 205–215.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
21. Mohammadi F., Sedaghati R., Bonakdar A. Finite element analysis and design optimization of low plasticity burnishing process. *Int J Adv Manuf Technol.* 2014. 70. p. 1337–1354.

22. Sayahi M., Sghaier S., Belhadjsalah H.. Finite element analysis of ball burnishing process: comparisons between numerical results and experiments. Int J Adv Manuf Technol. 2013. 67. p. 1665–1673.

23. Branko Tadic, Sasa Randjelovic, Petar Todorovic, Jelena Zivkovic, Vladimir Kocovic, Igor Budak, Djordje Vukelic. Using a high-stiffness burnishing tool for increased dimensional and geometrical accuracies of openings. Precision Engineering, 2016. 43. p. 335–344.

24. Hevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., & Hupka, A. (2021, June). Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. In Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange (pp. 385-394). Springer, Cham.

25.<http://www.rbtburnishingtool.com/product-category/single-roller-burnishing-tools/>

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