

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 732.124.047 з
дослідженням процесу зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Тимчук П.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дячун А.Є.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 732.124.047 з дослідженням процесу зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь”.

У кваліфікаційній роботі представлено схему зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками. Виведено рівняння для знаходження кута взаємодії кульок із поверхнею отвору та побудовано графіки залежності цього кута від основних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору.

Встановлено взаємозв'язок конструктивних та силових параметрів процесу зміцнення поверхні отвору кульками на оправці. Виведено рівняння для знаходження часу контакту однієї кульки із поверхнею отвору та часу між послідовними ударами кульок по поверхні отвору.

Виведено рівняння для знаходження сили удару між кулькою та поверхнею отвору, сили взаємодії між кулькою та поверхнею отвору, сили тертя між кулькою та поверхнею отвору та побудовано графіки залежності цих силових параметрів від основних конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору.

Виведено рівняння та побудовано графіки залежності крутних моментів та потужності зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 732.124.047 з вибором і розрахунком заготовки, припусків на оброблення, режимів різання, норм часу та обґрунтуванням параметрів затискного пристрою.

ЗМІСТ

Вступ

1 Аналітична частина

- 1.1. Аналіз стану питання
- 1.2. Службове призначення деталі
- 1.3. Висновки та постановка завдань

2 Науково-дослідна частина

- 2.1. Дослідження параметрів процесу зміцнення поверхні
циліндричного отвору
- 2.2. Висновки

3 Технологічно-конструкторська частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Перелік посилань

Додатки

ВСТУП

Одним із способів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь є використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками. При обертанні та осьовому переміщенні оправки та обертанні заготовки із попередньо обробленим отвором відбувається періодична ударна взаємодія кульок із поверхнею отвору заготовки, внаслідок чого через явище наклепу та зростання кількості дислокацій у структурі поверхневого шару отвору відбувається зміцнення обробленої поверхні із зростанням її твердості та зниження шорсткості.

Дослідженню процесу вигладжування поверхонь присвячено значну кількість праць, що дозволяють оптимізувати процес обробки, підвищити його ефективність з досягненням високої точності та низької шорсткості поверхні.

Такий процес підвищує якість поверхневої структури отвору. Після механічної обробки поверхня отворів складається із мікро виступів та впадин із непостійними висотами та розташуванням. В процесі обкочування поверхні кульками виникає пластична деформація матеріалу заготовки внаслідок переміщення під тиском матеріалу із виступів у впадини. В наслідок такої обробки підвищується якість поверхні, знижується її шорсткість, виникає явище наклепу та зміцнення поверхні, підвищується її зносостійкість та стійкість до корозії.

Тому подальші дослідження процесу зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використанням спеціальних оправок із кульками є актуальними.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 732.124.047.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Одним із прогресивних способів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь є поверхнева пластична обробка поверхні загартованими кульками або роликками, що перекочуються по поверхні, знижуючи її поверхневу шорсткість та підвищуючи її твердість після операції розточування. Такий процес підвищує якість поверхневої структури отвору. Після механічної обробки поверхня отворів складається із мікро виступів та впадин із непостійними висотами та розташуванням. В процесі обкочування поверхні кульками виникає пластична деформація матеріалу заготовки внаслідок переміщення під тиском матеріалу із виступів у впадини. В наслідок такої обробки підвищується якість поверхні, знижується її шорсткість, виникає явище наклепу та зміцнення поверхні, підвищується її зносостійкість та стійкість до корозії.

Перед обкочуванням кульками поверхня отвору повинна піддаватись попередній механічній обробці із забезпеченням необхідного припуску на пластичну деформацію а також необхідної шорсткості поверхні. Величина необхідного припуску визначається умовами обробки, властивостями матеріалу заготовки, товщиною стінки деталі а також необхідними параметрами якості, які потрібно досягнути. У довідниках можна знайти приблизні значення припусків на обкочування, проте через значну кількість параметрів обробки точне значення припуску визначається експериментальним шляхом. Перевищення величини припуску призводить до зниження стійкості інструменту та погіршення якості обробленої поверхні.

Якість внутрішніх циліндричних поверхонь має важливу роль для експлуатаційних властивостей деталей машин. Застосування методу шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь не завжди забезпечує необхідну ефективність при обробленні кольорових сплавів. В процесі

обкочування таких поверхонь кульками усувається налипання матеріалу, затуплення інструменту та його перегрівання.

В останній період дослідженню процесу вигладжування поверхонь присвячено значну кількість праць, що дозволяють оптимізувати процес обробки, підвищити його ефективність з досягненням високої точності та низької шорсткості поверхні.

У роботі [16] представлено результати досліджень обробки поверхонь заготовки із сталі роликами, що базуються на експериментальних дослідженнях із статистичною обробкою результатів та аналізу поверхонь відгуку. Діаметр ролика становив 22 мм, ширина – 6 мм, подача ролика дорівнювала 0,1 мм/об, глибина обкочування становила 0,2 мм при частоті обертання шпинделя 600 об/хв. В результаті одержана хороша кореляція між експериментальними даними та прогнозованими результатами із теоретичної моделі, а також встановлено вплив режимів обкочування на якість поверхні. Зокрема встановлено, що швидкість обертання шпинделя, зусилля обкочування, подача інструмента та кількість переходів мають найбільший вплив на поверхневу мікротвердість та шорсткість. При цьому рекомендована для забезпечення високої якості поверхні частота обертання шпинделя повинна знаходитись в межах від 150 до 230 об/хв. Крім цього на обробленій поверхні виникають залишкові напруження, що зменшуються при збільшенні відстані від поверхні у заготовку.

У роботі [19] розглянуто вплив процесу розкочування на характеристики обробленої поверхні із різноманітних матеріалів: алюмінієвого сплаву, латуні, та трьох марок сталі. При цьому встановлено, що найбільший вплив на характеристики обробленої поверхні мають: швидкість обробки, глибина обкочування, час обкочування та початкова твердість матеріалу заготовки. Аналіз публікацій вказує, що підвищення швидкості обкочування призводить до зменшення приросту у відсотках мікротвердості та зміни діаметру заготовки, тоді як збільшення швидкості обробки більше ніж 1,5 м/с призводить до значного зростання відхилення від круглості обробленої поверхні. Автори

також стверджують, що збільшення глибини обкочування призводить до значного зростання мікротвердості поверхні і зміни діаметра обробленої поверхні без зростання відхилення від круглості. Найвища точність поверхні досягається при застосуванні значної глибини обробки з найменшим часом взаємодії інструменту із заготовкою.

У статті [22] досліджено процес розкочування внутрішньої циліндричної поверхні заготовки із алюмінієвого сплаву кульками із карбіду хрому діаметром 8 мм. При цьому розглядалися основні режими обробки: швидкість обкочування, подача, глибина обробки та кількість переходів. Встановлено, що шорсткість обробленої поверхні зменшувалась від початкової шорсткості Ra 4 мкм до фінішної середньої Ra 0,14 мкм. На параметри поверхневого профілю найбільший вплив мають швидкість, подача та кількість переходів.

У роботі [23] досліджено вплив ширини контакту процесу обкочування поверхні роликками та кульками на якість поверхні та трибологічні властивості алюмінієвого сплаву. Ролики та кульки виготовлялись із карбіду хрому. Встановлено оптимальні межі швидкості обробки – 250 – 420 об/хв для ширини контакту між кулькою та поверхнею 1 мм. При цьому шорсткість поверхні знижується на 40%. Якщо ширина контакту знаходиться в межах від 1,5 мм до 2 мм, то якість поверхні погіршується через надлишкові пластичні деформації.

Використання зусилля обкочування більше 220 Н призводить до зниження поверхневої шорсткості на 35%. При швидкості обробки 110 об/хв досягається підвищення твердості поверхні на 30 %, проте підвищення швидкості обробки призводить до зниження цього параметра. Також автори встановили, що коефіцієнт тертя обробленої поверхні залежить від шорсткості поверхні.

У роботі [25] проведено моделювання для прогнозування шорсткості поверхні після процесу обробки поверхні кульками, використовуючи регресійний аналіз та нейронну мережу. Одержані прогнозовані величини шорсткості поверхні порівнювались з одержаними результатами експериментальних досліджень. Встановлено вплив основних вихідних

параметрів процесу обкочування: зусилля обкочування, кількість переходів, подача, швидкість на шорсткість поверхні.

У роботі [26] представлено механізм формування поверхні при обкочуванні кульками, що зображено на рисунку 1.1, а також профілограма одержаної поверхні (рис. 1.2) при швидкості обробки 60 м/хв, подачі 0,06 мм/об та зусиллі обробки 200 Н.

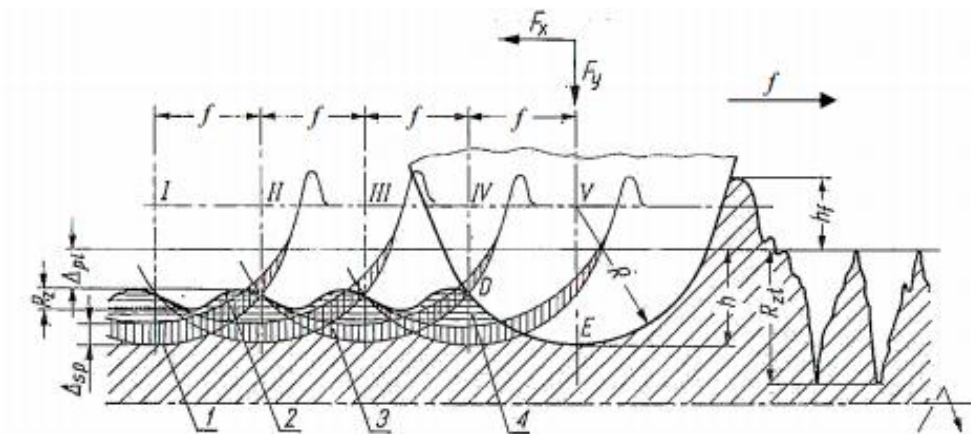


Рисунок 1.1 – Механізм формування поверхні при обкочуванні кульками [26]

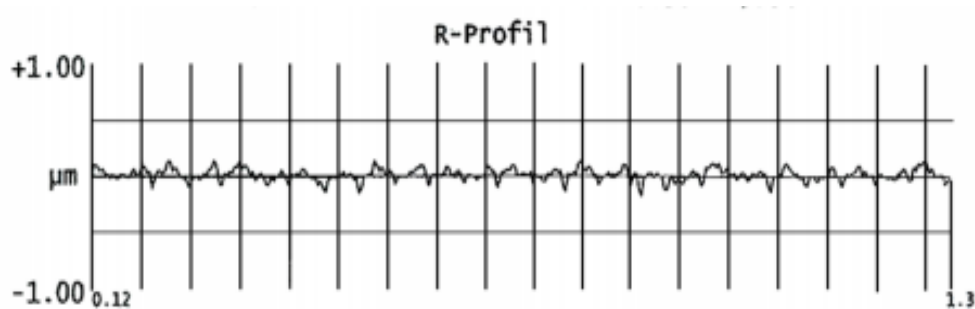


Рисунок 1.2 – Профілограма одержаної поверхні після обкочування кульками [26]

На рисунку 1.3 представлено інструмент для розкочування та зміцнення внутрішньої циліндричної поверхні кульками 4, що встановлені в оправці 1 з пружинами стиску 2. Для запобігання вильоту кульок використовується обойма 5.

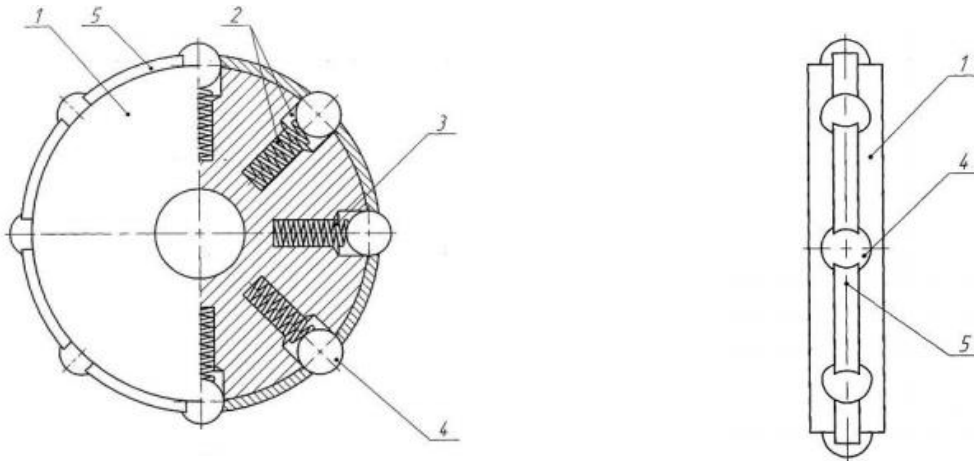


Рисунок 1.3 – Інструмент для розкочування та зміцнення внутрішньої циліндричної поверхні кульками (Патент 63795)

Для розкочування та зміцнення внутрішньої конічної поверхні кульками запропоновано схожий інструмент до рисунку 1.3 і представлено на рис. 1.4.

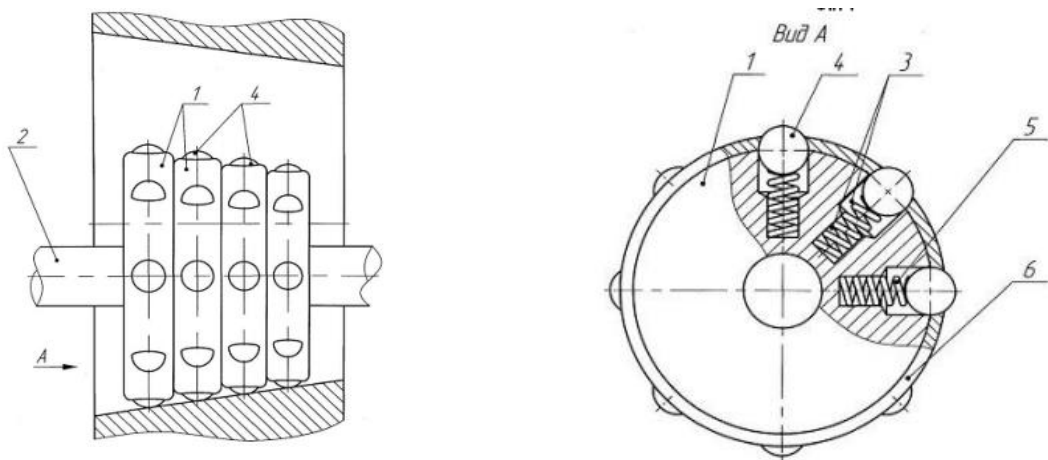


Рисунок 1.4 – Інструмент для розкочування та зміцнення внутрішньої конічної поверхні кульками (Патент 64815)

Відповідно до стандартів процесу зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь методами поверхневої пластичної деформації поділяються на статичні та ударні. Основні схеми таких процесів представлено на рисунку 1.5. До статичних методів віднесено вигладжування (рис. 1.5 а), накатування (рис.

1.5 б) та обтискання (рис. 1.5 в). Схема ударного методу обробки представлена на рис. 1.5 г.

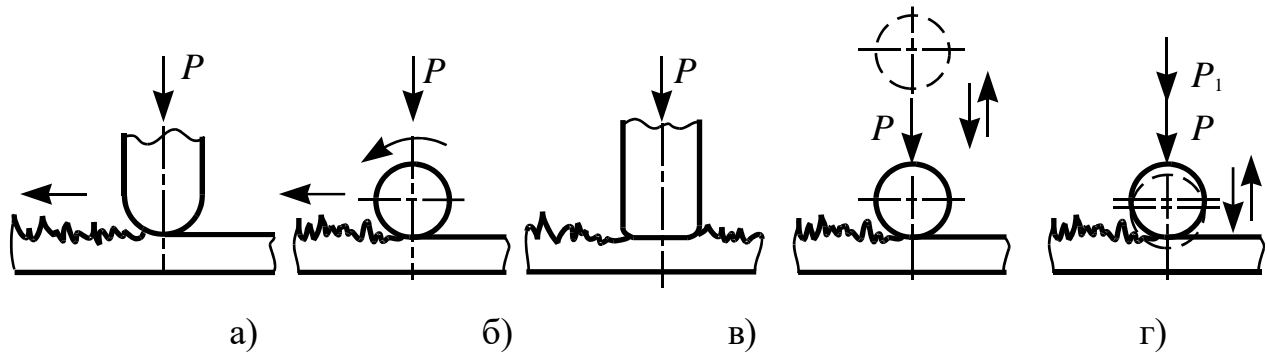


Рисунок 1.5 – Схеми процесів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь методами поверхневої пластичної деформації [27]

Технологічні схеми основних процесів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь методами поверхневої пластичної деформації представлено на рисунку 1.6.

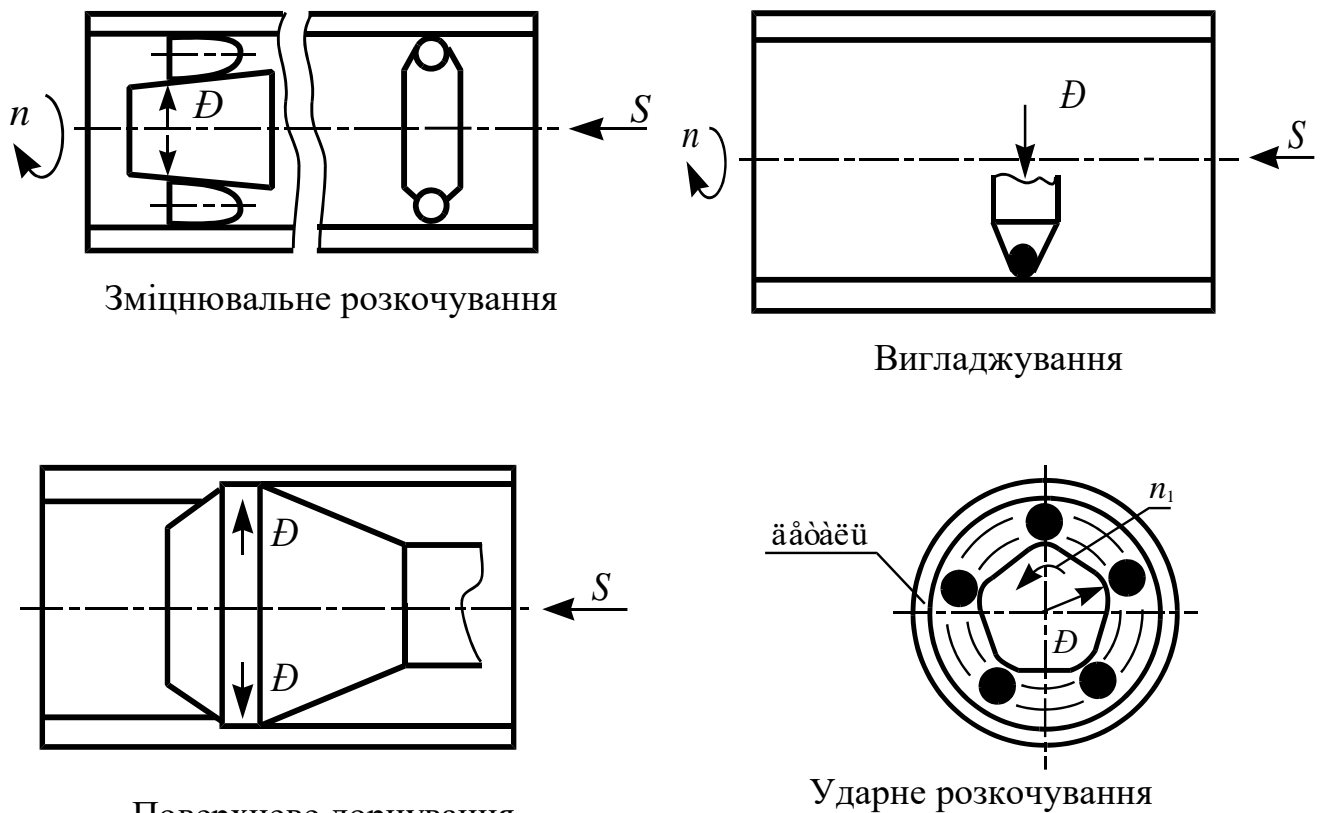


Рисунок 1.6 – Технологічні схеми основних процесів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь методами поверхневої пластичної деформації [27]

На рисунку 1.7 представлено основні конструктивні та технологічні параметри ударного процесу зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь методами поверхневої пластичної деформації.

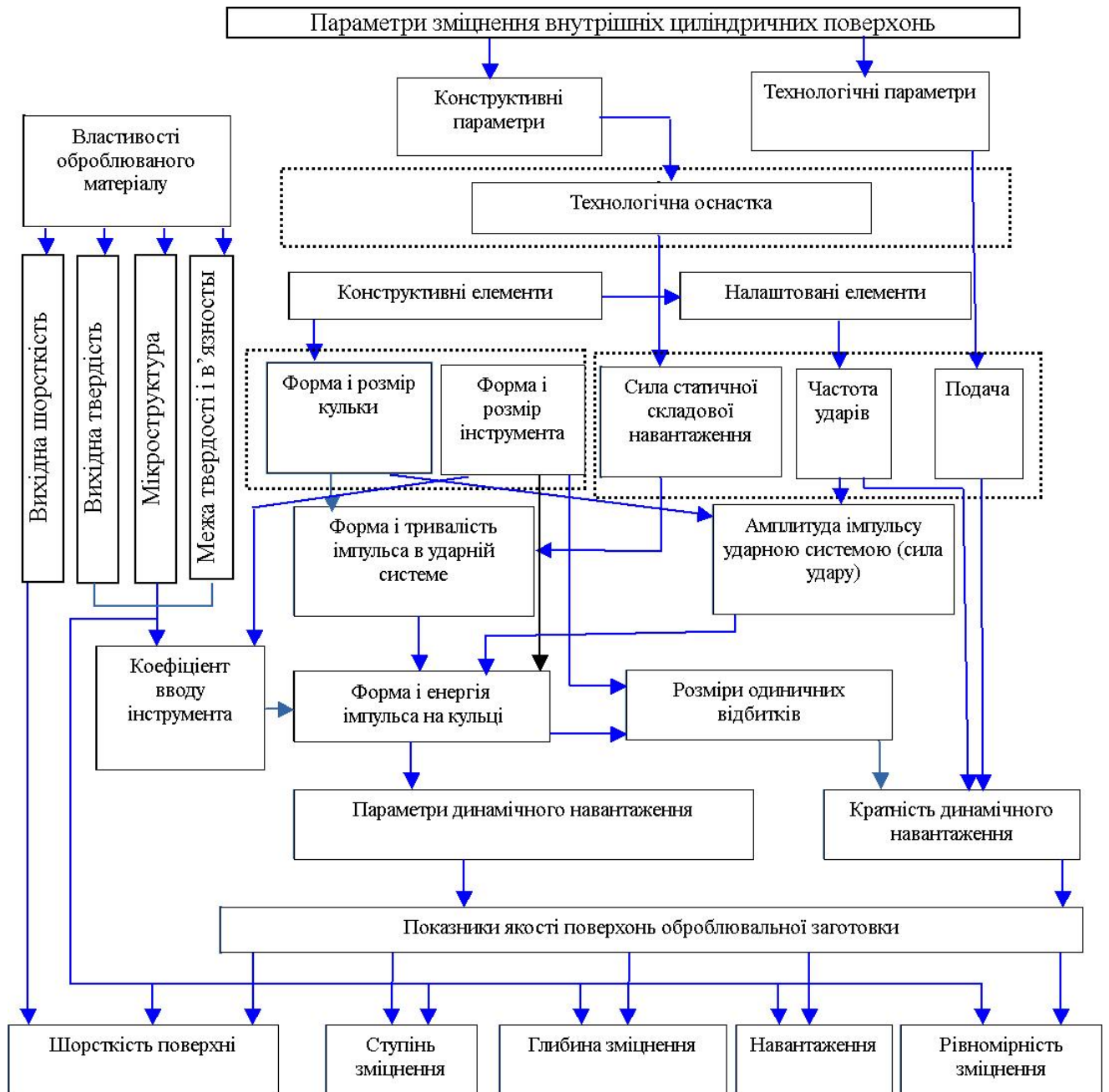


Рисунок 1.7 – Основні конструктивні та технологічні параметри ударного процесу зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь методами поверхневої пластичної деформації [27]

1.2. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 732.124.047 використовується як базовий елемент серії промислових світильників, що мають додатковий захист від зовнішнього середовища.

Основними поверхнями деталі, що визначають її функціональне значення є: внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 140H9^{(+0,1)}$; Ra2,5, яка призначена для встановлення кільця; торцева поверхня $168,2h14_{(-1,0)}$; Ra12,5 призначена для точного позиціонування з кільцем; внутрішня різьова поверхня M130×2-7H; Ra6,3 – для загвинчування кільця; різьовий отвір M22×1,5-7H; Ra6,3 – для загвинчування втулки для виводу проводів; два отвори M4-7H; Ra6,3 – для кріплення клемної колодки гвинтами; два отвори M6-7H; Ra6,3 – для кріплення сальника гвинтами; два отвори M6-7H; $110\pm 0,3$; Ra6,3 – для кріплення кришки двома гвинтами; два отвори M6-7H; $78\pm 0,3$; Ra6,3 – для кріплення планки з патроном двома гвинтами; отвір M6-7H для загвинчування гвинта заземлення; пази на ребрах жорсткості $b=5$; Ra12,5 – призначені для установки фіксаторів. Аналіз технічних вимог до згаданих поверхонь представлено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1	Торцева поверхня $168h14_{(-1,0)}$	14	Ra12,5
2	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 140H9^{(+0,1)}$	9	Ra2,5
2а	Торцева поверхня $5\pm 0,1$	14	Ra12,5
3,5	Внутрішня фаска $2\times 45^\circ$	14	Ra12,5
4	Отвір $\varnothing 127,9^{+0,25}$ під різь M130×2-7H	11	Ra6,3
6	Канавка внутрішня $\varnothing 131h14^{(+1,0)}$; $7,88H14^{(+0,36)}$	14	Ra12,5
7	Внутрішня різьова поверхня M130×2-7H	11	Ra6,3
8	Отвір $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різь M22×1,5-7H	13	Ra12,5
9	Внутрішня фаска $1,5\times 45^\circ$	Не обробляється	Rz50
10	Внутрішня різьова поверхня M22×1,5-7H	12	Ra6,3
11	Два отвори під різь M4-7H; 12H16; $78\pm 0,3$	12	Ra12,5

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3	4
12	Дві внутрішні фаски 0,5×45°; 78±0,3	14	Ra12,5
13	Дві внутрішні різеві поверхні М4-7Н; 8 min; 78±0,3	12	Ra6,3
14	Два отвори під різь М4-7Н; 12Н16; 58±0,3	12	Ra12,5
15	Дві внутрішні фаски 0,5×45°; 58±0,3	14	Ra12,5
16	Дві внутрішні різеві поверхні М4-7Н; 8 min; 58±0,3	12	Ra6,3
17	Два отвори під різь М6-7Н; 18Н16; 56±0,3	12	Ra12,5
18	Дві внутрішні фаски 1,0×45°; 56±0,3	14	Ra12,5
19	Дві внутрішні різеві поверхні М6-7Н; 14 min; 56±0,3	12	Ra6,3
20	Паз на ребрах жорсткості b=5Н14(+0,3); Ø145 ^{+1,0}	14	Ra12,5
21	Два отвори Ø6,8 ^{+0,15} під різь М8-7Н; 17Н16; 38±0,3	12	Ra12,5
22	Дві внутрішні фаски 1,0×45°; 38±0,3	14	Ra12,5
23	Дві внутрішні різеві поверхні М8-7Н; 12 min; 38±0,3	12	Ra6,3
24	Отвір Ø25Н14(+0,52)	14	Ra12,5
25	Отвір під різь М6-7Н; 13Н16	12	Ra12,5
26	Внутрішня фаска 1,0×45°	14	Ra12,5
27	Внутрішня різева поверхня М6-7Н; 8 min	12	Ra6,3
28	Отвір під різь М6-7Н; 18Н16	12	Ra12,5
29	Внутрішня фаска 1,0×45°	14	Ra12,5
30	Внутрішня різева поверхня М6-7Н; 14 min	12	Ra6,3
31	Отвір під різь М6-7Н; 15	12	Ra12,5
32	Внутрішня фаска 1,0×45°	14	Ra12,5
33	Внутрішня різева поверхня М6-7Н; 15	12	Ra6,3
34	Отвір під різь М4-7Н; 12Н16	12	Ra12,5
35	Внутрішня фаска 0,5×45°	14	Ra12,5
36	Внутрішня різева поверхня М4-7Н; 8 min	12	Ra6,3
37	Отвір під різь М6-7Н; 13Н16	12	Ra12,5
38	Внутрішня фаска 1,0×45°	14	Ra12,5
39	Внутрішня різева поверхня М6-7Н; 8 min	12	Ra6,3

1.3. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу процесів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь встановлено, що поверхнева пластична обробка поверхні загартованими кульками або роликами, що перекочуються по поверхні,

знижуючи її поверхневу шорсткість та підвищуючи її твердість після операції розточування є одним із прогресивних способів. В процесі обкочування поверхні кульками виникає пластична деформація матеріалу заготовки внаслідок переміщення під тиском матеріалу із виступів у впадини. В наслідок такої обробки підвищується якість поверхні, знижується її шорсткість, виникає явище наклепу та зміцнення поверхні, підвищується її зносостійкість та стійкість до корозії.

Дослідженню процесу вигладжування поверхонь присвячено значну кількість праць, що дозволяють оптимізувати процес обробки, підвищити його ефективність з досягненням високої точності та низької шорсткості поверхні.

Встановлено, що швидкість обертання шпинделя, зусилля обкочування, подача інструмента та кількість переходів мають найбільший вплив на поверхневу мікротвердість та шорсткість. Шорсткість обробленої поверхні може зменшуватись від початкової шорсткості Ra 4 мкм до фінішної середньої Ra 0,14 мкм. Використання зусилля обкочування більше 220 Н призводить до зниження поверхневої шорсткості на 35%. При швидкості обробки 110 об/хв досягається підвищення твердості поверхні на 30 %.

Аналіз публікацій вказує, що підвищення швидкості обкочування призводить до зменшення приросту у відсотках мікротвердості та зміни діаметру заготовки, тоді як збільшення швидкості обробки більше ніж 1,5 м/с призводить до значного зростання відхилення від круглості обробленої поверхні.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Запропонувати схему зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками.

2. Встановити взаємозв'язок конструктивних та силових параметрів процесу зміцнення поверхні отвору кульками на оправці.

3. Вивести рівняння для знаходження кута взаємодії кульок із поверхнею отвору та побудувати графіки залежності цього кута від основних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору.

4. Вивести рівняння часу контакту однієї кульки із поверхнею отвору та часу між послідовними ударами кульок по поверхні отвору.

5. Вивести рівняння для знаходження сили удару між кулькою та поверхнею отвору, сили взаємодії між кулькою та поверхнею отвору, сили тертя між кулькою та поверхнею отвору та побудувати графіки залежності цих силових параметрів від основних конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору.

6. Вивести рівняння та побудувати графіки залежності крутних моментів та потужності зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками.

7. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 732.124.047.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження параметрів процесу зміцнення поверхні циліндричного отвору

Одним із способів зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь є використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками. Схема такого процесу представлена на рисунку 2.1. При обертанні та осьовому переміщенні оправки 1 та обертанні заготовки 2 із попередньо обробленим отвором відбувається періодична ударна взаємодія шести кульок 3 із поверхнею отвору заготовки 2, внаслідок чого через явище наклепу та зростання кількості дислокацій у структурі поверхневого шару отвору відбувається зміцнення обробленої поверхні із зростанням її твердості та зниження шорсткості. Оправка 1 та заготовка 2 можуть обертатись як в однакових напрямках, так і в протилежних напрямках. Кульки 3 після взаємодії із поверхнею отвору повертаються у вихідне положення під дією пружин стиску 4 та відцентрової сили.

Для встановлення взаємозв'язку конструктивних та силових параметрів даного процесу використано розрахункову схему, зображену на рисунку 2.2. Кульки виготовляються із легованої гартованої сталі.

Із розрахункової схеми на рисунку 2.2 встановлено, що кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору визначає проекції сил, що діють у зоні контакту на вісі z та y .

Кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору знаходимо за формулою:

$$\alpha = 180 - \gamma, \quad (2.1)$$

де γ – кут розташування кульок в момент удару.

Кут γ розташування кульок в момент удару можна знайти із трикутника ABC :

$$\gamma = 180 - \beta - \theta, \quad (2.2)$$

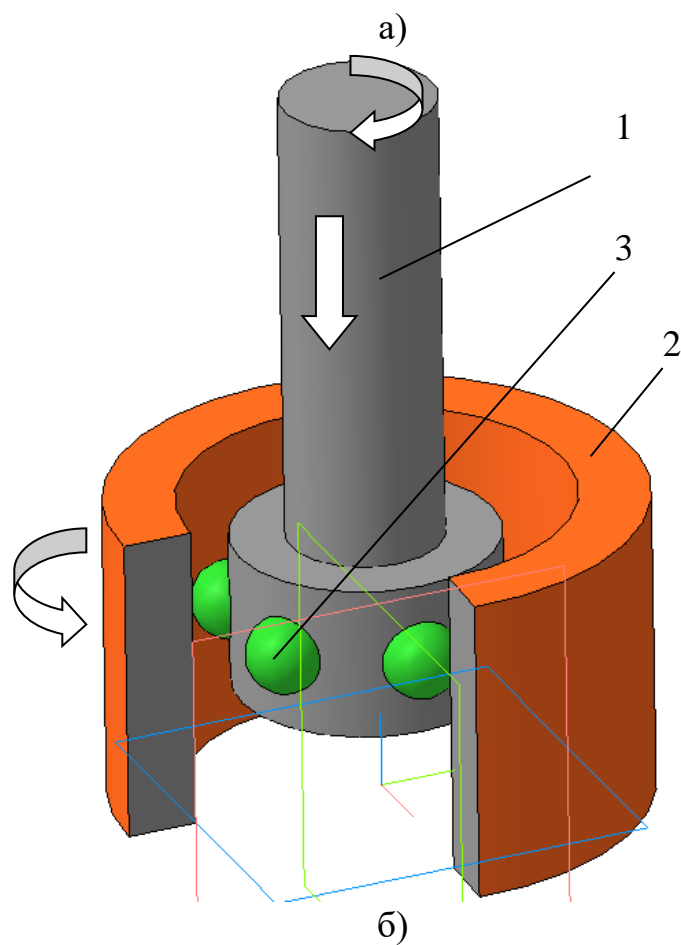
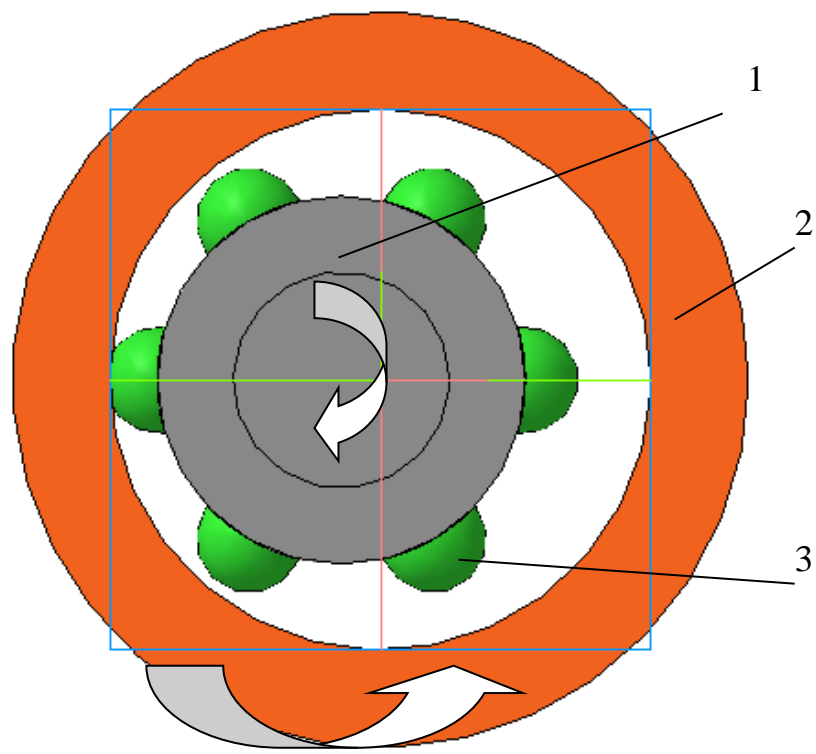


Рисунок 2.1 – Процес зміцнення поверхні циліндричного отвору: а) – вигляд зверху; б) – трьохмірне зображення; 1 – оправка, 2 – заготовка з отвором; 3 – кулька

де β – кут розташування точки взаємодії кульки із поверхнею отвору відносно центру отвору;

θ – кут між лініями від центрів оправки та отвору заготовки до центру розташування кульки в момент удару.

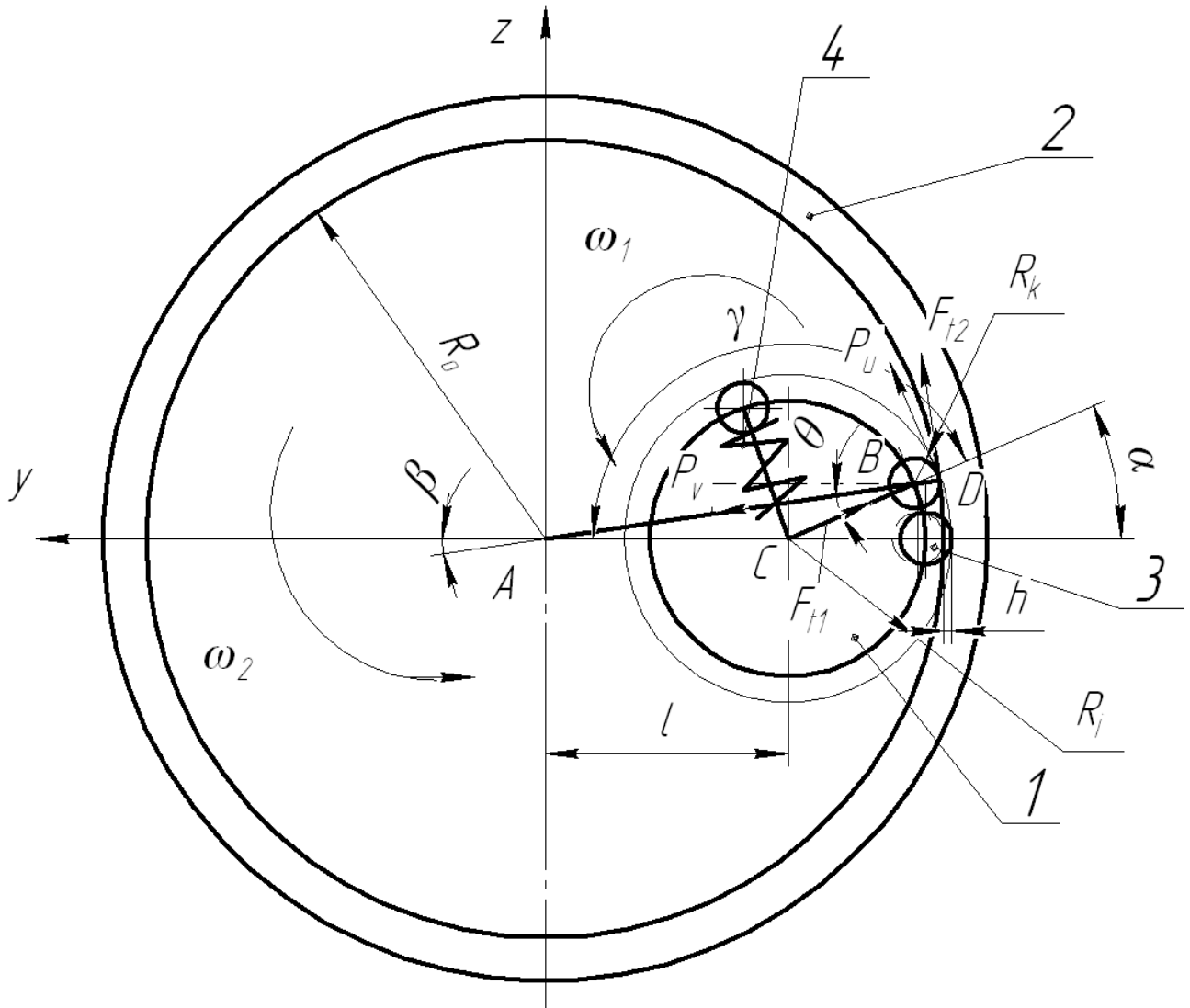


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема для встановлення взаємозв'язку конструктивних та силових параметрів процесу зміцнення поверхні отвору кульками: 1 – оправка, 2 – заготовка з отвором; 3 – кулька; 4 – пружина стиску

Із формул (2.1) і (2.2) знаходимо:

$$\alpha = \beta + \theta. \quad (2.3)$$

Кут β розташування точки взаємодії кульки із поверхнею отвору відносно

центру отвору визначаємо, використовуючи теорему косинусів:

$$\beta = \arccos \frac{R_o^2 + l^2 - R_i^2}{2R_o l}, \quad (2.4)$$

де R_o - радіус отвору, що обробляється;

l - зміщення центра оправки відносно центру отвору;

R_i - зовнішній радіус оправки разом із кульками.

Кут θ між лініями від центрів оправки та отвору заготовки до центру розташування кульки в момент удару визначаємо на основі теореми синусів:

$$\theta = \arcsin \frac{l \sin \beta}{R_{ki}}, \quad (2.5)$$

де R_{ki} - радіус розташування підпружинених кульок.

Підставляємо рівняння (2.5) у рівняння (2.4) та одержуємо:

$$\theta = \arcsin \frac{l \sin \left(\arccos \frac{R_o^2 + l^2 - R_i^2}{2R_o l} \right)}{R_{ki}}, \quad (2.6)$$

Радіус R_{ki} розташування підпружинених кульок:

$$R_{ki} = R_i - R_k, \quad (2.7)$$

де R_k - радіус кульки.

Величина переміщення кульки при взаємодії із поверхнею отвору:

$$h = l + R_i - R_o, \quad (2.8)$$

Відповідно при налагодженні обладнання потрібно витримувати величину:

$$l = R_o - R_i + h. \quad (2.9)$$

Відстань від центра отвору до центра розташування кульки в момент удару:

$$c = R_{ki} \frac{\sin \gamma}{\sin \beta}. \quad (2.10)$$

Підставляючи рівняння (2.2), (2.4), (2.5) в рівняння (2.10), одержано:

$$c = R_{ki} \frac{\sin \left(180 - \arccos \frac{R_o^2 + l^2 - R_i^2}{2R_o l} - \arcsin \frac{l \sin \left(\arccos \frac{R_o^2 + l^2 - R_i^2}{2R_o l} \right)}{R_{ki}} \right)}{\sin \left(\arccos \frac{R_o^2 + l^2 - R_i^2}{2R_o l} \right)}. \quad (2.11)$$

Підставляючи рівняння (2.4), (2.6) в рівняння (2.3), одержано:

$$\alpha = \arccos \frac{R_o^2 + (R_o - R_i + h)^2 - R_i^2}{2R_o (R_o - R_i + h)} + \arcsin \frac{(R_o - R_i + h) \sin \left(\arccos \frac{R_o^2 + (R_o - R_i + h)^2 - R_i^2}{2R_o (R_o - R_i + h)} \right)}{R_i - R_k}. \quad (2.12)$$

На одержаного основі рівняння (2.12) побудовано графіки залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від основних параметрів процесу (рис. 2.3 – 2.6).

На рисунку 2.3 представлено графік залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору. На основі аналізу графіків встановлено, що величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має найбільший вплив на величину кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору із всіх решти конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору. При збільшенні величини переміщення h , кут α взаємодії кульок із поверхнею

отвору зростає, що впливає на значення проекції сил, що діють у зоні контакту на вісі z та y (рис. 2.2). Найбільший приріст кута α відбувається при збільшенні величини h від 0 мм до 0,5 мм.

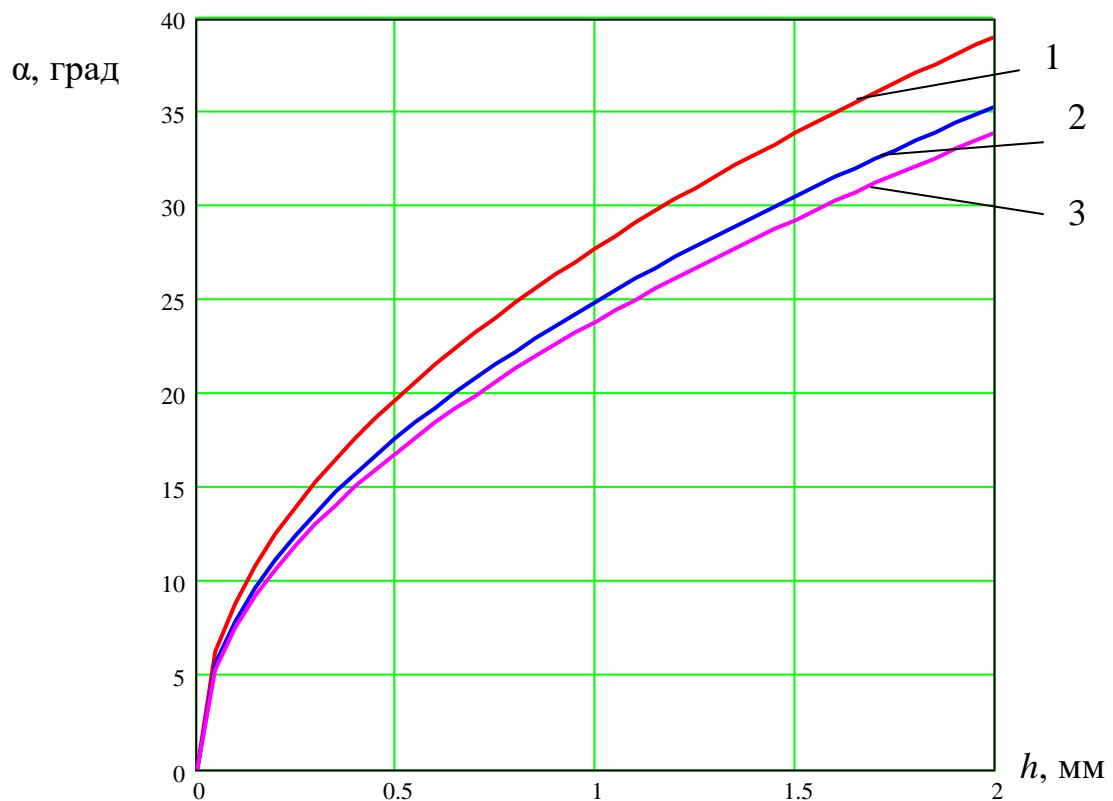


Рисунок 2.3 - Графіки залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору, $R_i=20$ мм, $R_k=3$ мм: 1 – $R_o=40$ мм; 2 – $R_o=60$ мм; 3 – $R_o=80$ мм

На рисунку 2.4 представлено графік залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини зовнішнього радіуса R_i оправки разом із кульками. На основі аналізу графіка встановлено, що при збільшенні величини радіуса R_i оправки разом із кульками, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зменшується. Якщо радіус R_i оправки разом із кульками наближається за величиною до радіусу R_o отвору, що обробляється (крива 1 рис. 2.4), то спостерігається значення мінімуму функції. Для кривої 1 мінімальне значення кута $\alpha = 38$ град досягається при $R_i = 24$ мм. При збільшенні радіуса R_i оправки разом із кульками від 12 мм до 30 мм відбувається зменшення кута α до 42%.

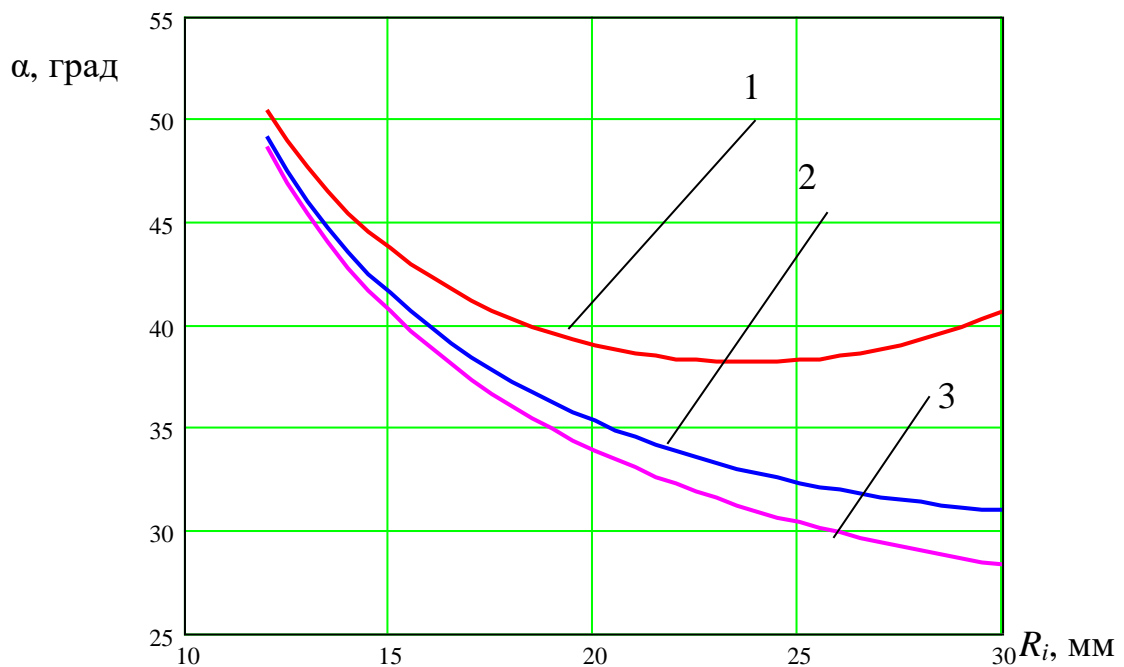


Рисунок 2.4 - Графіки залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини зовнішнього радіуса R_i оправки разом із кульками, $h=2$ мм, $R_k=3$ мм: 1 – $R_o=40$ мм; 2 – $R_o=60$ мм; 3 – $R_o=80$ мм

На рисунку 2.5 представлено графік залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини радіуса R_o отвору, що обробляється. На основі аналізу графіка встановлено, що при збільшенні величини радіуса R_o отвору, що обробляється, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зменшується. Якщо радіус R_o отвору, що обробляється дорівнює величині радіусу R_i оправки разом із кульками (крива 3 рис. 2.5), то значення кута α наближається до 90 градусів. В інших випадках при збільшенні радіуса R_o отвору, що обробляється від 40 мм до 80 мм відбувається зменшення кута α до 32%.

На рисунку 2.6 представлено графік залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини радіуса R_k кульки. На основі аналізу графіка встановлено, що при збільшенні величини радіуса R_k кульки, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зростає.

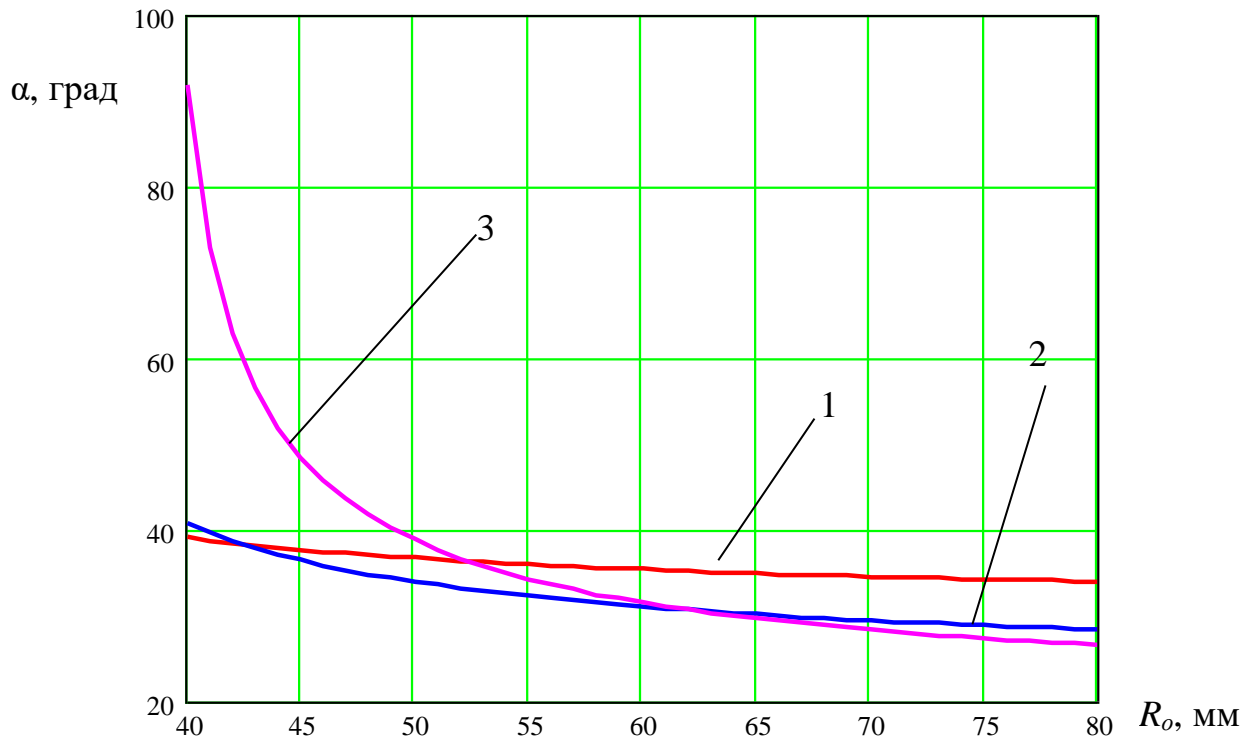


Рисунок 2.5 - Графіки залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини радіуса R_o отвору, що обробляється, $h=2$ мм, $R_k=3$ мм:

1 – $R_i=20$ мм; 2 – $R_i=30$ мм; 3 – $R_i=40$ мм

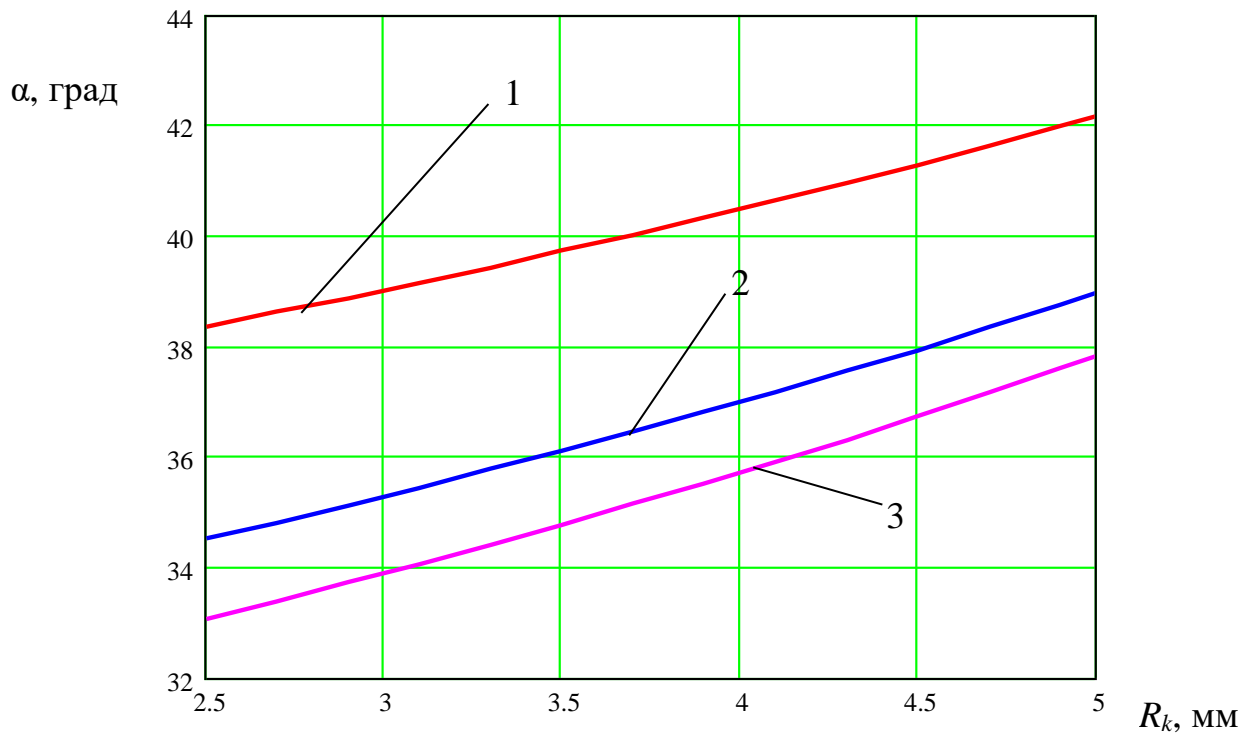


Рисунок 2.6 - Графіки залежності кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору від величини радіуса R_k кульки, $h=2$ мм, $R_i=20$ мм:

1 – $R_o=40$ мм; 2 – $R_o=60$ мм; 3 – $R_o=80$ мм

На основі аналізу графіків встановлено, що величина радіуса R_k кульки має найменший вплив на величину кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору із всіх решти конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору. При збільшенні радіуса R_k кульки від 2,5 мм до 5 мм відбувається зростання кута α до 8%.

Час контакту однієї кульки із поверхнею отвору:

$$t_K = \frac{2\alpha}{\omega_1 \pm \omega_2}, \quad (2.13)$$

де ω_1 – частота обертання оправки із кульками;

ω_2 – частота обертання заготовки.

Знак “+” у формулі (2.13) і подальших формулах відповідає випадку, коли оправка та заготовка обертаються в однакових напрямках, а знак “-” - в протилежних напрямках.

Час між послідовними ударами кульок по поверхні отвору :

$$t_1 = \frac{2\pi}{z(\omega_1 \pm \omega_2)}, \quad (2.14)$$

де z - кількість кульок, що розташовані на оправці.

Із формул (2.13) та (2.14) визначаємо кількість кульок, що одночасно взаємодіють із поверхнею отвору, заокруглюючи одержане значення до цілого меншого числа:

$$k = \frac{\alpha z}{\pi}. \quad (2.15)$$

Проекції на осі y та z сили удару P_u між кулькою та поверхнею отвору в точці контакту D визначаємо за формулами:

$$P_{uz} = P_u \cos \alpha; \quad (2.16)$$

$$P_{uy} = P_u \sin \alpha . \quad (2.17)$$

Силу удару P_u визначаємо за формулою [27]:

$$P_u = K_B \cdot \frac{m \cdot V_K}{\tau_{K2}} , \quad (2.18)$$

де K_B - коефіцієнт відновлення,

m - маса кульки;

V_K - швидкість руху кульки відносно поверхні отвору;

τ_{K2} - час удару між кулькою та поверхнею отвору.

Швидкість руху кульки відносно поверхні отвору:

$$V_k = R_i \omega_1 \pm R_o \omega_2 . \quad (2.19)$$

Тоді

$$P_u = K_B \cdot \frac{m \cdot (R_i \omega_1 \pm R_o \omega_2)}{\tau_{K2}} . \quad (2.20)$$

Проекції на осі y та z сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору в точці D визначаємо за формулами:

$$P_{vz} = P_v \sin \beta ; \quad (2.21)$$

$$P_{vy} = P_v \cos \beta . \quad (2.22)$$

Силу сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору на основі розрахункової схеми на рис. 2.1 визначаємо із співвідношення:

$$\frac{k_1 (\Delta + h) + F_{t1} + m R_{ki} \omega_1^2}{P_v} = \cos \theta , \quad (2.23)$$

де k_1 – жорсткість пружини стиску;

Δ – деформація пружини при встановленні кульки в оправку;

F_{t1} – сила тертя між кулькою та поверхнею отвору.

Силу тертя між кулькою та поверхнею отвору визначаємо за формулою:

$$F_{t1} = P_v \sin \theta f_1, \quad (2.24)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя між кулькою та поверхнею оправки.

Із рівняння (2.23) знаходимо:

$$P_v = \frac{k_1(\Delta + h) + P_v \sin \theta f_1 + mR_{ki} \omega_1^2}{\cos \theta}, \quad (2.25)$$

звідки

$$P_v = \frac{k_1(\Delta + h) + mR_{ki} \omega_1^2}{\cos \theta} + P_v \operatorname{tg} \theta f_1; \quad (2.26)$$

$$P_v = \frac{k_1(\Delta + h) + mR_{ki} \omega_1^2}{(1 - \operatorname{tg} \theta f_1) \cos \theta}. \quad (2.27)$$

Силу тертя між кулькою та поверхнею отвору визначаємо за формулою:

$$F_{t2} = P_v \cdot f_2, \quad (2.28)$$

де f_2 – коефіцієнт тертя між кулькою та поверхнею отвору.

Підставляючи формулу (2.27) у рівняння (2.28), знайдено

$$F_{t2} = \frac{f_2(k_1(\Delta + h) + mR_{ki} \omega_1^2)}{(1 - \operatorname{tg} \theta f_1) \cos \theta}. \quad (2.29)$$

Проекції на осі y та z сили тертя між кулькою та поверхнею отвору в точці D визначаємо за формулами:

$$F_{t2z} = F_{t2} \cos \beta; \quad (2.30)$$

$$F_{t2y} = F_{t2} \sin \beta. \quad (2.31)$$

На основі виведених вище рівнянь побудовано графіки залежностей

проекцій на осі z (рис. 2.7) та y (рис. 2.8) сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору, сили тертя F_{t2} між кулькою та поверхнею отвору в точці D від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору.

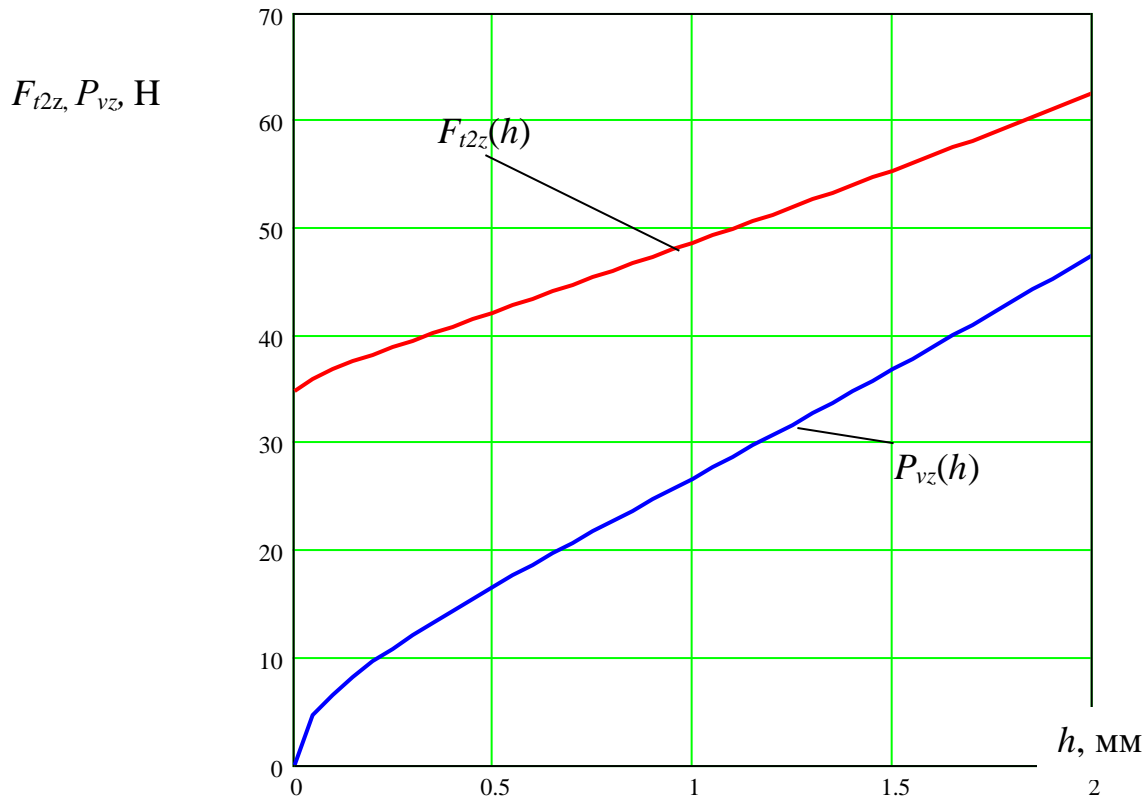


Рисунок 2.7 - Графіки залежностей проекцій на вісь z сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору, сили тертя F_{t2} між кулькою та поверхнею отвору в точці D від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору, $R_i=20$ мм, $R_k=3$ мм, $R_o=40$ мм

На основі аналізу графіків встановлено, що величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має найбільший вплив на проекції сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору та сили тертя F_{t2} між кулькою та поверхнею отвору. При збільшенні величини переміщення h сили P_v та F_{t2} зростають, при цьому при збільшенні h від 0,5 мм це зростання носить лінійний характер.

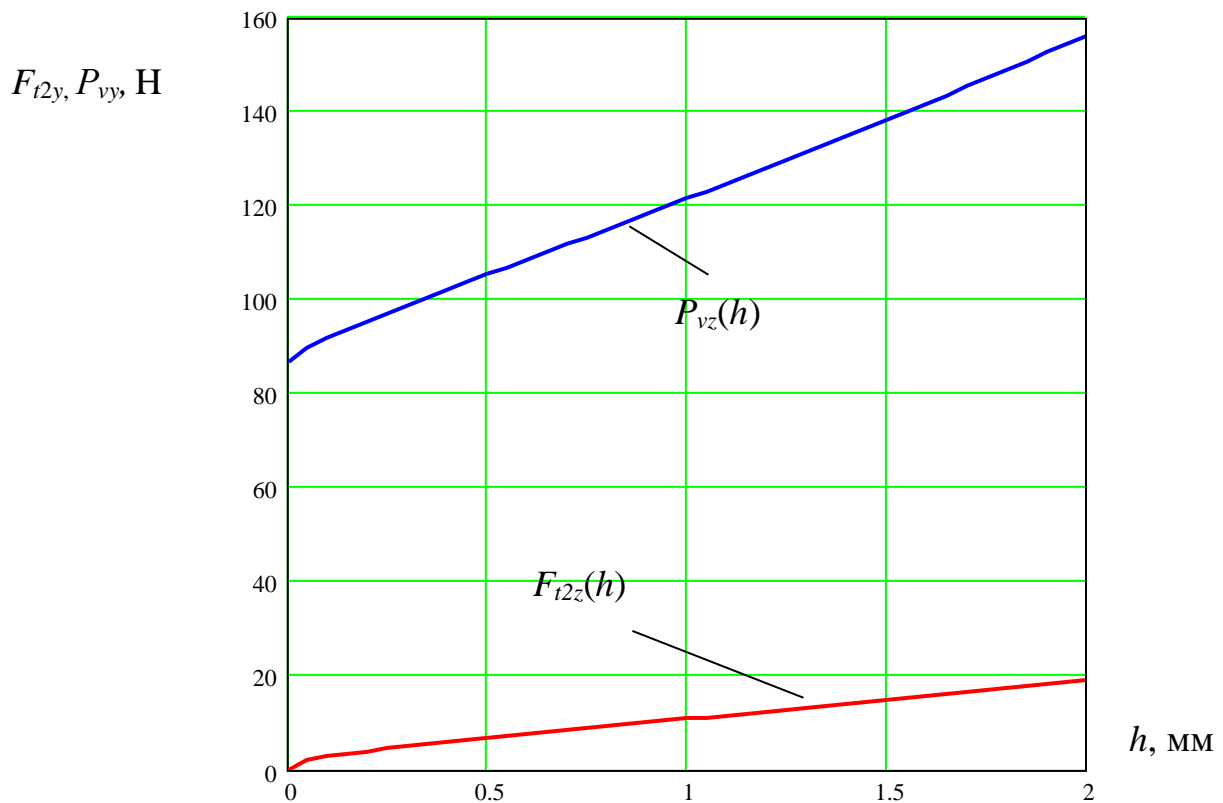


Рисунок 2.8 - Графіки залежностей проєкцій на вісь у сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору, сили тертя F_{t2} між кулькою та поверхнею отвору в точці D від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору, $R_i=20\text{мм}$, $R_k=3\text{мм}$, $R_o=40\text{мм}$

Крутний момент обертання оправки із кульками:

$$M_1 = R_i (P_u + F_{t2} \cos \theta). \quad (2.32)$$

Крутний момент обертання заготовки із отвором:

$$M_2 = R_o (P_u \cos \theta + F_{t2}). \quad (2.33)$$

Потужність обертання оправки із кульками:

$$N_1 = \frac{M_1 n_1}{9750}, \quad (2.34)$$

де n_1 – частота обертання оправки із кульками.

Потужність обертання заготовки із отвором:

$$N_2 = \frac{M_2 n_2}{9750}, \quad (2.35)$$

де n_2 – частота обертання заготовки із отвором.

На основі виведених вище рівнянь (2.32) – (2.35) побудовано графіки залежностей (рис. 2.9, рис. 2.10) крутних моментів та потужностей для обертання оправки із кульками та заготовки від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору.

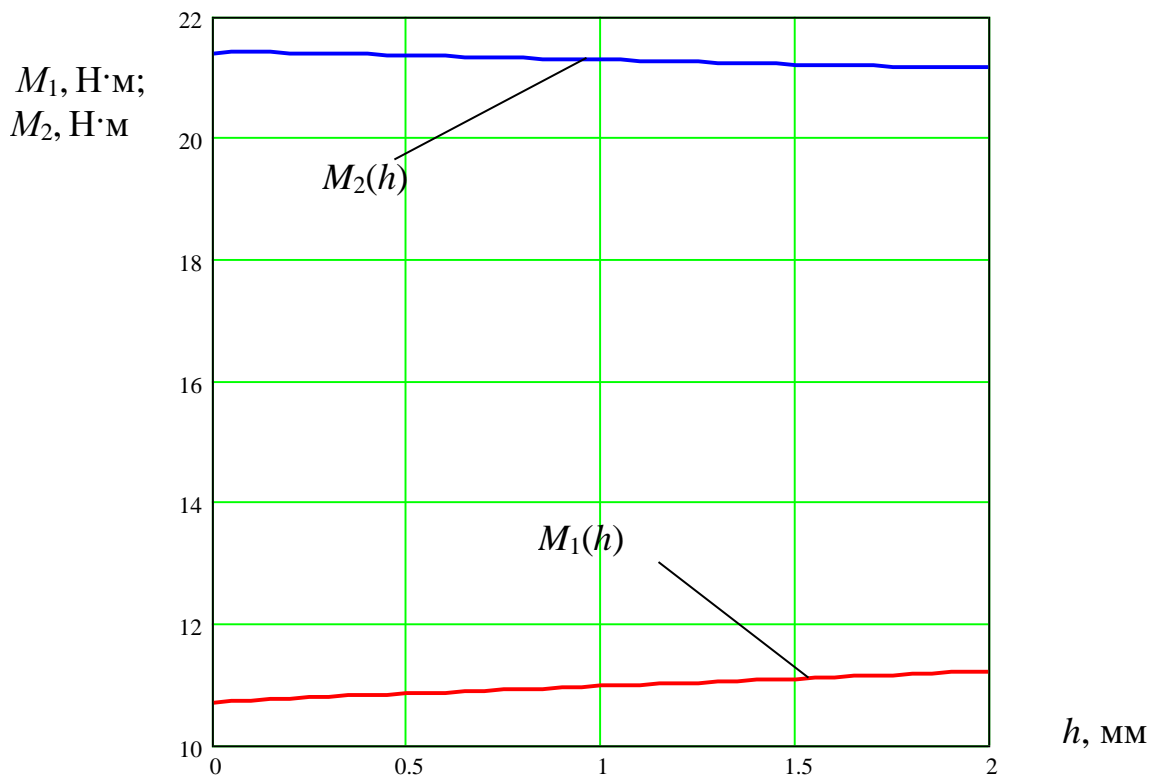


Рисунок 2.9 - Графіки залежностей крутних моментів для обертання оправки із кульками та заготовки від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору, $R_i=20$ мм, $R_k=3$ мм, $R_o=40$ мм

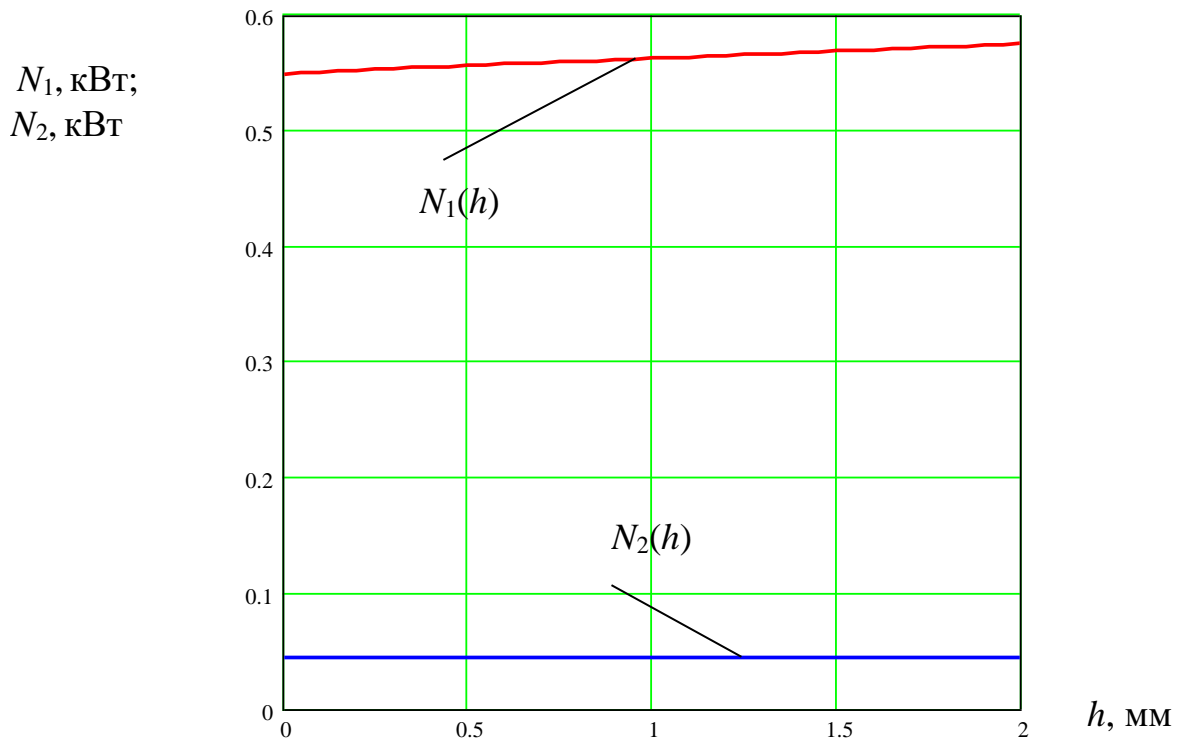


Рисунок 2.10 - Графіки залежностей потужностей для обертання оправки із кульками та заготовки від величини переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору, $R_i=20$ мм, $R_k=3$ мм, $R_o=40$ мм

На основі аналізу графіків встановлено, що величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має незначний вплив на величину крутних моментів та потужностей для обертання оправки із кульками та заготовки. При збільшенні величини переміщення h крутний момент M_1 обертання оправки із кульками зростає, а крутний момент M_2 обертання заготовки із отвором зменшується. Відповідно при збільшенні величини переміщення h потужність N_1 обертання оправки із кульками зростає, а потужність N_2 обертання заготовки із отвором зменшується.

2.2. Висновки

У розділі запропоновано схему зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками. Виведено рівняння для знаходження кута

взаємодії кульок із поверхнею отвору та побудовано графіки залежності цього кута від основних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору.

Встановлено, що величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має найбільший вплив на величину кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору із всіх решти конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору. При збільшенні величини переміщення h , кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зростає, що впливає на значення проекції сил, що діють у зоні контакту на вісі z та y . Найбільший приріст кута α відбувається при збільшенні величини h від 0 мм до 0,5 мм.

При збільшенні величини радіуса R_i оправки разом із кульками, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зменшується. Якщо радіус R_i оправки разом із кульками наближається за величиною до радіусу R_o отвору, що обробляється, то спостерігається значення мінімуму функції. Мінімальне значення кута $\alpha = 38$ град досягається при $R_i = 24$ мм. При збільшенні радіуса R_i оправки разом із кульками від 12 мм до 30 мм відбувається зменшення кута α до 42%.

При збільшенні величини радіуса R_o отвору, що обробляється, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зменшується. Якщо радіус R_o отвору, що обробляється дорівнює величині радіусу R_i оправки разом із кульками, то значення кута α наближається до 90 градусів. В інших випадках при збільшенні радіуса R_o отвору, що обробляється від 40 мм до 80 мм відбувається зменшення кута α до 32%.

Величина радіуса R_k кульки має найменший вплив на величину кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору із всіх решти конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору. При збільшенні радіуса R_k кульки від 2,5 мм до 5 мм відбувається зростання кута α до 8%

Величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має найбільший вплив на проекції сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору та сили тертя F_{t2} між кулькою та поверхнею отвору. При збільшенні

величини переміщення h сили P_v та F_{t2} зростають, при цьому при збільшенні h від 0,5 мм це зростання носить лінійний характер.

Величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має незначний вплив на величину крутних моментів та потужностей для обертання оправки із кульками та заготовки. При збільшенні величини переміщення h крутний момент M_1 обертання оправки із кульками зростає, а крутний момент M_2 обертання заготовки із отвором зменшується. Відповідно при збільшенні величини переміщення h потужність N_1 обертання оправки із кульками зростає, а потужність N_2 обертання заготовки із отвором зменшується.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз технологічності деталі

Для аналізу технологічності корпусу 732.124.047 використовуємо дані із таблиці 3.1, що сформована в результаті аналізу креслення деталі та технічних вимог.

Таблиця 3.1 – Кількісні показники технологічності

Назва поверхні. Позначення на кресленні	К-сть пов.	Кількість уніфікованих поверхонь	Квалітет точності	Параметр шорсткості по ГОСТ 2789-73	Клас шорсткості (чистоти поверхні)
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 168h14 _(-1,0)	1	-	14	Ra12,5	3
Внутрішня циліндрична поверхня Ø140H9 ^(+0,1)	1	-	9	Ra2,5	5
Торцева поверхня 5±0,1	1	-	14	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 2×45°	2	2	14	Ra12,5	3
Отвір Ø127,9 ^{+0,25} під різь М130×2-7Н	1	-	11	Ra6,3	4
Канавка внутрішня Ø131h14 ^(+1,0) ; 7,88H14 ^(+0,36)	1	1	14	Ra12,5	3
Внутрішня різева поверхня М130×2-7Н	1	1	11	Ra6,3	4
Отвір Ø20,5 ^{+0,3} під різь М22×1,5-7Н	1	1	12	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 1,5×45°	1	1	Не обробля- ється	Rz50	2
Внутрішня різева поверхня М22×1,5-7Н	1	1	12	Ra6,3	4
Два отвора під різь М4- 7Н; 12Н16; 78±0,3	2	2	12	Ra12,5	3
Дві внутрішні фаски 0,5×45°; 78±0,3	2	2	14	Ra12,5	3

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Дві внутрішні різеві поверхні М4-7Н; 8 min; 78±0,3	2	2	12	Ra6,3	4
Два отвори під різь М4-7Н; 12Н16; 58±0,3	2	2	12	Ra12,5	3
Дві внутрішні фаски 0,5×45°; 58±0,3	2	2	14	Ra12,5	3
Дві внутрішні різеві поверхні М4-7Н; 8 min; 58±0,3	2	2	12	Ra6,3	4
Два отвори під різь М6-7Н; 18Н16; 56±0,3	2	2	12	Ra12,5	3
Дві внутрішні фаски 1,0×45°; 56±0,3	2	2	14	Ra12,5	3
Дві внутрішні різеві поверхні М6-7Н; 14 min; 56±0,3	2	2	12	Ra6,3	4
Паз на ребрах жорсткості b=5Н14 ^(+0,3) ; Ø145 ^{+1,0}	1	-	14	Ra12,5	3
Два отвори Ø6,8 ^{+0,15} під різь М8-7Н; 17Н16; 38±0,3	2	2	12	Ra12,5	3
Дві внутрішні фаски 1,0×45°; 38±0,3	2	2	14	Ra12,5	3
Дві внутрішні різеві поверхні М8-7Н; 12 min; 38±0,3	2	2	12	Ra6,3	4
Отвір Ø25Н14 ^(+0,52)	1	1	14	Ra12,5	3
Отвір під різь М6-7Н; 13Н16	1	1	12	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 1,0×45°	1	1	14	Ra12,5	3
Внутрішня різева поверхня М6-7Н; 8 min	1	1	12	Ra6,3	4
Отвір під різь М6-7Н; 18Н16	1	1	12	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 1,0×45°	1	1	14	Ra12,5	3
Внутрішня різева поверхня М6-7Н; 14 min	1	1	12	Ra6,3	4

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Отвір під різь М6-7Н; 15	1	1	12	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 1,0×45°	1	1	14	Ra12,5	3
Внутрішня різьова поверхня М6-7Н; 15	1	1	12	Ra6,3	4
Отвір під різь М4-7Н; 12Н16	1	1	12	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 0,5×45°	1	1	14	Ra12,5	3
Внутрішня різьова поверхня М4-7Н; 8 min	1	1	12	Ra6,3	4
Отвір під різь М6-7Н; 13Н16	1	1	12	Ra12,5	3
Внутрішня фаска 1,0×45°	1	1	14	Ra12,5	3
Внутрішня різьова поверхня М6-7Н; 8 min	1	1	12	Ra6,3	4
Разом:	52	47			

Показник технологічності - коефіцієнт точності обробки корпусу 732.124.047:

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}}, \quad (3.1)$$

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 20 + 12 \cdot 28 + 11 \cdot 2 + 9 \cdot 1}{51} = 12,7;$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{12,7} = 0,92.$$

При $K_{\text{т.ч.}} = 0,92 > 0,8$ корпус 732.124.047 є технологічним.

Показник технологічності - коефіцієнт шорсткості поверхонь корпусу 732.124.047:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}}, \quad (3.2)$$

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{5 \cdot 1 + 4 \cdot 16 + 3 \cdot 34}{51} = 3,35,$$

$$K_{ш} = \frac{1}{3,35} = 0,30.$$

При $K_{ш} = 0,30 > 0,16$ корпус 732.124.047 є технологічним.

Показник технологічності - коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів корпуса 732.124.047

$$K_{y.e.} = \frac{N_{y.e.}}{N_e} = \frac{47}{52} = 0,9. \quad (3.3)$$

При $K_{y.e.} = 0,9 > 0,6$ корпус 732.124.047 є технологічним.

Отже, корпус 732.124.047 є технологічним за основними показниками, що відповідають встановленому типу виробництва.

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Оскільки деталь корпус 732.124.047 виготовляється із алюмінієвого сплаву АК12, що має хороші ливарні властивості, доцільно провести порівняння двох способів виготовлення заготовки:

- 1) литво у піщані форми із ручним формуванням моделей;
- 2) литво під тиском на спеціальних машинах із пресформами та подачею рідкого металу шнеком.

Для розрахунку маси заготовки корпуса 732.124.047 проведено визначення припусків на механічну обробку, що вибрано із довідникових даних. А маса заготовки визначена як сума маси деталі та припусків на обробку:

$$Q = q + m_{пр}, \quad (3.4)$$

$q = 0,8$ – маса деталі, кг;

$$m_{пр} = V_{пр} \cdot \rho. \quad (3.5)$$

Результати вибору припусків представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски корпусу 732.124.047

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) литво у піщані форми із ручним формуванням моделей				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 140H9^{(+0,1)}$	Ra2,5	5,0	$6,5 \times 2 = 13,0$	$\varnothing 127 \pm 2,5$
Торцева поверхня 168h14 $_{(-1,0)}$	Ra12,5	5,6	6,0	$174 \pm 2,8$
Отвір $\varnothing 25H14^{(+0,52)}$	Ra12,5	3,2	$4,2 \times 2 = 8,4$	$\varnothing 16,6 \pm 1,6$
Отвір $\varnothing 127,9H11^{(+0,25)}$ під різь M130 \times 2-7H	Ra6,3	5,0	$6,5 \times 2 = 13,0$	$\varnothing 115 \pm 2,5$
Отвір $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різь M22 \times 1,5-7H	Ra12,5	3,2	–	–
Торцева поверхня $5 \pm 0,1$	Ra12,5	2,2	3,2	$1,8 \pm 1,1$ ($7,8 \pm 1,1$ на кресленні)
2) литво під тиском на спеціальних машинах				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 140H9^{(+0,1)}$	Ra2,5	1,2	$2,0 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 136 \pm 0,6$
Торцева поверхня 168h14 $_{(-1,0)}$	Ra12,5	1,4	1,6	$169,6 \pm 0,7$
Отвір $\varnothing 25H14^{(+0,52)}$	Ra12,5	0,8	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 23,0 \pm 0,4$
Отвір $\varnothing 127,9H11^{(+0,25)}$ під різь M130 \times 2-7H	Ra6,3	1,2	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 125,5 \pm 0,6$
Отвір $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різь M22 \times 1,5-7H	Ra12,5	0,8	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 18,5 \pm 0,4$
Торцева поверхня $5 \pm 0,1$	Ra12,5	0,56	0,9	$4,1 \pm 0,28$ ($5,7 \pm 0,28$ на кресленні)

Для кожного із методів виготовлення заготовки, що розглядаються виконуємо ескізи заготовок та визначаємо об'єми припусків на механічну обробку:

- литво у піщані форми із ручним формуванням моделей

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (140^2 - 127^2) \cdot 7,8}{4} = 21253 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (154^2 - 140^2) \cdot 6}{4} = 19386,4 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (128^2 - 115^2) \cdot 32}{4} = 79354,1 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot 20,5^2 \cdot 18,5}{4} = 6103,1 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (25^2 - 16,6^2) \cdot 2,5}{4} = 685,8 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 126782,4 \text{ мм}^3 = 126,8 \text{ см}^3.$$

- литво під тиском на спеціальних машинах

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (140^2 - 136^2) \cdot 5,7}{4} = 4939,85 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (154^2 - 140^2) \cdot 1,6}{4} = 51696,7 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (128^2 - 125,5^2) \cdot 32}{4} = 15289,04 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (25^2 - 23^2) \cdot 2,5}{4} = 188,4 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (20,5^2 - 18,5^2) \cdot 18,5}{4} = 1132,8 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 26719,8 \text{ мм}^3 = 26,72 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– литво у піщані форми із ручним формуванням моделей:

$$m_{\text{пр1}} = 126,8 \cdot 2,6 = 329,7 \text{ г} = 0,33 \text{ кг.}$$

– литво під тиском на спеціальних машинах:

$$m_{\text{пр2}} = 26,72 \cdot 2,6 = 69,5 \text{ г} = 0,07 \text{ кг.}$$

Відповідно з формули (3.4) визначаємо маси заготовок:

– литво у піщані форми із ручним формуванням моделей:

$$Q_1 = 0,8 + 0,33 = 1,13 \text{ кг.}$$

– литво під тиском на спеціальних машинах:

$$Q_2 = 0,8 + 0,07 = 0,87 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

– литво у піщані форми із ручним формуванням моделей:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,8}{1,13} = 0,7.$$

– литво під тиском на спеціальних машинах:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,8}{0,87} = 0,92.$$

Оскільки економічно доцільно використовувати спосіб виробництва заготовок із мінімальними витратами матеріалу в умовах крупно серійного виробництва, вибираємо для розроблення технологічного процесу спосіб

виробництва заготовки - литво під тиском на спеціальних машинах.

3.3. Формування технологічного процесу

Для синтезу технологічного процесу виготовлення корпусу 732.124.047 розглянуто декілька маршрутів обробки із вибором оптимального. Результати представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти для синтезу технологічного процесу виготовлення корпусу 732.124.047

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1	Торцева поверхня 168h14 _(-1,0)	14	Ra12,5	Напівчистове точіння поперечною подачею	—
2	Внутрішня циліндрична поверхня Ø140H9 ^(+0,1)	9	Ra2,5	Напівчистове розточування Чистове розточування	—
2а	Торцева поверхня 5±0,1	14	Ra12,5	Напівчистове точіння	—
3,5	Внутрішня фаска 2×45°	14	Ra12,5	Напівчистове розточування	—
4	Отвір Ø127,9H11 ^(+0,25) під різь М130×2-7H	11	Ra6,3	Напівчистове розточування	—
6	Канавка внутрішня Ø131h14 ^(+1,0) ; 7,88H14 ^(+0,36)	14	Ra12,5	Напівчистове розточування	—
7	Внутрішня різева поверхня М130×2-7H	12	Ra6,3	Фрезерування різі гребінчастою фрезою	Нарізання різі різцем
8	Отвір Ø20,5 ^{+0,3} під різь М22×1,5-7H	13	Ra12,5	Свердління по кондуктору	Центрування Свердління
10	Внутрішня різева поверхня М22×1,5-7H	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
11, 14, 34	Отвір $\varnothing 3,3H12^{(+0,12)}$ під різь М4-7Н	12	Ra12,5	Свердління по кондуктору	Центрування Свердління
17, 25, 28, 31, 37	Отвір $\varnothing 4,95H12^{(+0,12)}$ під різь М6-7Н	12	Ra12,5	Свердління по кондуктору	Центрування Свердління
21	Отвір $\varnothing 6,8H12^{(+0,15)}$ під різь М8-7Н	12	Ra12,5	Свердління по кондуктору	Центрування Свердління
12, 15, 35	Внутрішня фаска $0,5 \times 45^\circ$	14	Ra12,5	Зенкування	Утворення при centruванні
13, 16, 36	Внутрішня різьова поверхня М4-7Н	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—
18, 22, 26, 29, 32, 38	Внутрішня фаска $1,0 \times 45^\circ$	14	Ra12,5	Зенкування	Утворення при centruванні
19, 27, 30, 33, 39	Внутрішня різьова поверхня М6-7Н	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—
20	Паз на ребрах жорсткості $b=5H14^{(+0,3)}$;	14	Ra12,5	Точіння поперечною подачею	—
23	Внутрішня різьова поверхня М8-7Н	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—
24	Отвір $\varnothing 25H14^{(+0,52)}$	14	Ra12,5	Розсвердлювання	Зенкерування

В результаті аналізу таблиці 3.4 одержано маршрут обробки корпусу 732.124.047.

005 Токарна напівавтоматна

Позиція II. Підрізати остаточно торець 1 з поперечного супорта, витримуючи розмір $168,2_{-1,0}$; розточити остаточно фаску 3, витримуючи розмір $3,42 \times 45^\circ$ з поздовжнього супорта одночасно.

Позиція III.

Розточити попередньо отвір 2 з остаточною підрізкою торця 2а, витримуючи розміри $\varnothing 139,75^{+0,25}$; $5\pm 0,1$; розточити остаточно отвір 4, витримуючи розмір $\varnothing 127,9^{+0,25}$ з поздовжнього супорта одночасно

Позиція IV.

Розточити остаточно отвір 2, витримуючи розмір $\varnothing 140^{+0,1}$; $5\pm 0,1$ з поздовжнього супорта.

Позиція V.

Розточити остаточно внутрішню канавку 6 з поздовжнього супорта, витримуючи розміри $\varnothing 131^{+1,0}$; $7,88^{+0,36}$.

Позиція VI.

Точити остаточно зовнішній паз 20 з поперечного супорта, витримуючи розміри $b=5^{+0,3}$; $\varnothing 145^{+1,0}$.

Перевірити розміри: $b=5^{+0,3}$; $\varnothing 145^{+1,0}$; $\varnothing 131^{+1,0}$; $7,88^{+0,36}$; $\varnothing 140^{+0,1}$; $5\pm 0,1$; $\varnothing 127,9^{+0,25}$; $168,2_{-1,0}$; $3,42\times 45^\circ$; . Контроль 30%

010 Різефрезерна

Перехід 2. Фрезерувати внутрішню різь 7, витримуючи розмір M130×2-7H.

Перевірити розмір M130×2-7H; . Контроль 30%

015 Агрегатна

Позиція II. Центрувати три отвори 14, 34, з утворенням трьох фасок 15, 35, витримуючи розміри $\varnothing 4,3^{+0,12}$; $58\pm 0,3$; $30\pm 0,2$; $2,64\times 45^\circ$; центрувати три отвори 25, 28, 31 з утворенням трьох фасок 26, 29, 32, витримуючи розміри $\varnothing 7^{+0,15}$; $110\pm 0,3$; $25\pm 0,2$; $3,5\times 45^\circ$ з силової головки Па одночасно; розсвердлити отвір 24, витримуючи розмір $\varnothing 25^{+0,52}$ з силової головки Пб одночасно.

Позиція III. Свердлити три отвори 14, 34, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$; $58\pm 0,3$; $30\pm 0,2$ з силової головки Ша одночасно.

Позиція IV. Свердлити три отвори 25, 28, 31, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $110\pm 0,3$; $25\pm 0,2$ з силової головки IVa одночасно; свердлити два

отвори 17 з формуванням двох фасок 17, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $56 \pm 0,3$; $1 \times 45^\circ$ з силової головки IVб одночасно.

Позиція V. Нарізати різь 16, 36 в трьох отворах, витримуючи розміри M4-7H; $58 \pm 0,3$; $30 \pm 0,2$ з силової головки Va одночасно.

Позиція VI. Нарізати різь 27, 30, 33 в трьох отворах, витримуючи розміри M6-7H; $110 \pm 0,3$; $25 \pm 0,2$; з силової головки VIa одночасно; нарізати різь 19 в двох отворах, витримуючи розміри M6-7H; $56 \pm 0,3$ з силової головки VIб одночасно.

Перевірити розміри: $58 \pm 0,3$; $30 \pm 0,2$; $0,5 \times 45^\circ$; $1 \times 45^\circ$; $110 \pm 0,3$; $25 \pm 0,2$; M4-7H; M6-7H; $\varnothing 25^{+0,52}$. Контроль 30%.

020 Агрегатна

Позиція II. Центрувати два отвори 11 з утворенням двох фасок 12 з силової головки IIa, витримуючи розміри $\varnothing 4,3^{+0,12}$; $78 \pm 0,3$; $2,64 \times 45^\circ$; центрувати два отвори 21 з утворенням двох фасок 22, витримуючи розміри $\varnothing 8,8^{+0,15}$; $38 \pm 0,3$; $4,4 \times 45^\circ$; центрувати отвір 37 з утворенням фаски 38, витримуючи розміри $\varnothing 7^{+0,15}$; $25 \pm 0,3$; $3,5 \times 45^\circ$ з силової головки IIб одночасно.

Позиція III. Свердлити два отвори 11 з силової головки IIIa, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$; $78 \pm 0,3$; свердлити два отвори 21, витримуючи розміри $\varnothing 6,8^{+0,26}$; $38 \pm 0,3$ та один отвір 37, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $25 \pm 0,2$ з силової головки IIIб одночасно.

Позиція IV. Розсвердлити отвір 8 з силової головки Va, витримуючи розмір $\varnothing 20,5^{+0,3}$.

Позиція V. Нарізати різь 10 в отворі 8 з силової головки VIa, витримуючи розмір M22 \times 1,5-7H.

Позиція VI. Нарізати різь 13 в двох отворах 11, витримуючи розміри M4-7H; $78 \pm 0,3$ з силової головки IVa одночасно; нарізати різь 39 в отворі 37, витримуючи розміри M6-7H; $25 \pm 0,2$ та різь 23 в двох отворах 21, витримуючи розміри M8-7H; $38 \pm 0,3$ з силової головки IVб одночасно.

Перевірити розміри: M6-7H; $25 \pm 0,2$; M4-7H; $78 \pm 0,3$; M22 \times 1,5-7H; $\varnothing 20,5^{+0,3}$; . Контроль 30%.

Операція 025 Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Для розрахунку припусків на механічну обробку корпусу 732.124.047 використано відомі методики. Результати оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски

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
Торцева поверхня 168h14 _(-1,0)					
Напівчистове точіння	14	Ra12,5	1,0	1,6	168 _{-1,0}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,4		169,6±0,7
Торцева поверхня 5±0,1					
Напівчистове точіння	14	Ra12,5	0,2	0,9	5±0,1
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,56	–	4,1±0,28
Отвір Ø25H14 ^(+0,52)					
Розсвердлювання	14	Ra12,5	0,52	1,0 × 2 = 2,0	Ø25 ^{+0,52}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,8	–	Ø23,0 ±0,4
Отвір Ø20,5 ^{+0,3} під різь M22×1,5-7H					
Розсвердлювання	14	Ra12,5	0,3	1,0 × 2 = 2,0	Ø20,5 ^{+0,3}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,8	–	Ø18,5±0,4
Отвір Ø127,9H11 ^(+0,25) під різь M130×2-7H					
Розточування напівчистове	11	Ra6,3	0,25	1,2 × 2 = 2,4	Ø127,9 ^{+0,25}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,2	–	Ø125,5±0,6

3.6. Визначення режимів різання

Для розрахунку режимів різання на механічну обробку корпусу 732.124.047 для всіх операцій використано відомі методики. Результати оформлено у вигляді таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Режими різання механічної обробки корпусу 732.124.047

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _m , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _m , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарна										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 1 з поперечного супорта, витримуючи розмір 168,2 _{-1,0} ; розточити остаточно фаску 3, витримуючи розмір 3,42×45° з поздовжнього супорта одночасно	1,6 3,42	14	1	102	0,234	164	88	38,7	0,38	1,58
Перехід 3 Розточити попередньо отвір 2 з остаточною підрізкою торця 2а, витримуючи розміри Ø139,75 ^{+0,25} ; 5±0,1; розточити остаточно отвір 4, витримуючи розмір Ø127,9 ^{+0,25} з поздовжнього супорта одночасно	2,57 0,9 1,2	36	1	102	0,61	164	71	98	0,35	1,34
Перехід 4 Розточити остаточно отвір 2, витримуючи розмір Ø140 ^{+0,1} ; 5±0,1 з поздовжнього супорта	0,175	8	1	102	0,14	164	72,4	22,21	0,35	0,07
Перехід 5 Розточити остаточно внутрішню канавку 6 з поздовжнього супорта, витримуючи розміри Ø131 ^{+1,0} ; 7,88 ^{+0,36}	1,55	6	1	102	0,1	164	68	16,66	0,37	2,11

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Свердлити три отвори 25, 28, 31, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $110\pm 0,3$; $25\pm 0,2$ з силової головки IVа одночасно; свердлити два отвори 17 з формування двох фасок 17, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $56\pm 0,3$; $1\times 45^\circ$ силової головки IVб одночасно	2,5	24	1	152	0,091	1811	28,5	164	0,16	0,49 0,33
Позиція 5 Нарізати різь 16, 36 в трьох отворах, витримуючи розміри М4-7Н; $58\pm 0,3$; $30\pm 0,2$ з силової головки Va одночасно	0,405	16	1	76	0,71	234	3,1	164	0,21	0,04
Позиція 6 Нарізати різь 27, 30, 33 в трьох отворах, витримуючи розміри М6-7Н; $110\pm 0,3$; $25\pm 0,2$; з силової головки VIа одночасно; нарізати різь 19 в двох отворах, витримуючи розміри М6-7Н; $56\pm 0,3$ з силової головки VIб одночасно	0,54	21	1	106, 5 100, 5	1,1	164	3,2	164	0,25	0,06 0,04
020 Агрегатна										
Позиція 2										
Центрувати два отвори 11 з утворенням двох фасок 12, витримуючи розміри $\varnothing 4,3^{+0,12}$; $78\pm 0,3$; $2,64\times 45^\circ$ з силової головки IIа;	2,15	7	1	56,6	0,084	1861	25,2	154,5	0,051	0,28

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
центрувати два отвори 21 з утворенням двох фасок 22, витримуючи розміри $\varnothing 8,8^{+0,15}$; $38\pm 0,3$; $4,4\times 45^\circ$; центрувати отвір 37 з утворенням фаски 38, витримуючи розміри $\varnothing 7^{+0,15}$; $25\pm 0,3$; $3,5\times 45^\circ$ з силової головки Пб одночасно	4,4 3,5	9	1	73	0,108	1045	28,6	154,5	0,061	0,29 1
Позиція 3 Свердлити два отвори 11 з силової головки IIIa, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,12}$; $78\pm 0,3$;	1,15	18	1	102	0,077	2035	21,1 1	154,5	0,14	0,31
свердлити два отвори 21, витримуючи розміри $\varnothing 6,8^{+0,26}$; $38\pm 0,3$ та один отвір 37, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $25\pm 0,2$ з силової головки IIIб одночасно	3,4	24	1	102	0,12	1545	24,1	154,2	0,15	0,43
Позиція 4 Розсвердлити отвір 8 з силової головки Va, витримуючи розмір $\varnothing 20,5^{+0,3}$	1,0	32	1	152	0,172	886	57,2	154,2	0,20	0,95
Позиція 5 Нарізати різь 10 в отворі 8 з силової головки VIa, витримуючи розмір M22×1,5-7H	0,81	36	1	76	1,51	104	7,2	154,1	0,46	0,66
Позиція 6										
Нарізати різь 13 в двох отворах 11, витримуючи розміри M4-7H; $78\pm 0,3$ з силової головки IVa одночасно;	0,7	14	1	76	0,71	222	3,1	154,5	0,08	0,25

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
нарізати різь 39 в отворі 37, витримуючи розміри М6-7Н; 25±0,2	1,0	19	1	76	1,1	155	3,1	155	0,25	0,25
та різь 23 в двох отворах 21, витримуючи розміри М8-7Н; 38±0,3 з силової головки IVб одночасно	1,25	19	1	76	1,24	124	3,1	154,5	0,25	0,4

Для розрахунку технічних норм часу на механічну обробку корпусу 732.124.047 для всіх операцій використано відомі методики. Результати оформлено у вигляді таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Норми часу на механічну обробку корпусу 732.124.047

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д хв			Час швидких переміщень, хв	Час циклу верстата, T _ц хв	Час обслуговування, T _{об} хв			T _{шт} , хв.
		T _у	T _{пер.}	T _{вим.}			T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}	
005 Токарна напівавтоматна	0,36									0,54
010 Різефрезерна	3,7									4,81
015 Агрегатна	0,26	0,08	0,01	0,252	0,12	0,38	0,005	0,009	0,023	0,43
020 Агрегатна	0,47									0,61

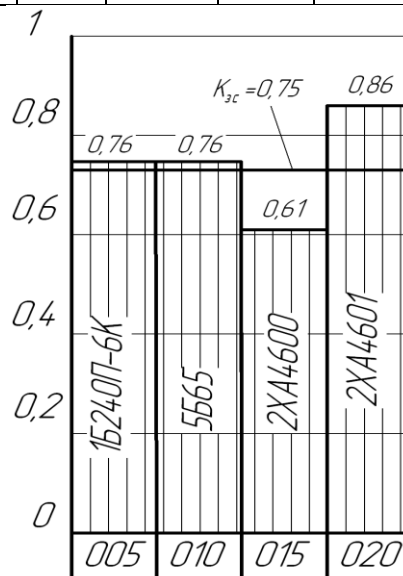


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

3.7. Розрахунок пристосування

Для обробки корпусу 732.124.047 на 015 агрегатній операції розроблено спеціальний пристрій із елементами базування та затиску. Базування деталі здійснюється по зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 154$ мм та по торцю 168мм на базу поз. 19, з орієнтацією деталі по внутрішніх ребрах за допомогою чотирьох втулок поз. 25 (пристрій представлено у графічній частині кваліфікаційної роботи).

Привод для затиску деталі виконано у вигляді пневмоциліндра. Передача зусилля затиску P_3 здійснюється через клин та два важелі.

Найбільше значення крутного моменту різання M_p на 015 операції виникає під час розточування отвору $\varnothing 25$ мм, тому розрахунок пристрою виконано для цього переходу. Розрахункову схему пристрою із закріпленою заготовкою представлено на рисунку 3.4.

На основі рівнянь рівноваги виведено співвідношення між силами затиску та крутним моментом різання із врахування сили тертя між заготовкою та базою пристрою:

$$2P_3 \cdot f_1 \cdot R + \frac{2P_3 f_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} = K \cdot M_p, \quad (3.7)$$

де $f_1=0,2$ - коефіцієнт тертя між поверхнею заготовки та прихватами під час затиску;

$R= 64$ мм – радіус розташування місць затиску прихватами заготовки;

$f_2=0,2$ – коефіцієнт тертя між заготовкою та циліндричною базою;

$R_1=70$ мм – найменший радіус торця корпусу із сторони циліндричної бази;

$R_2=77$ мм – найбільший радіус торця корпусу із сторони циліндричної бази;

Розраховуємо момент різання за відомою емпіричною залежністю [20]:

$$M_{\text{різ}} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.8)$$

де $C_M = 0,031$; $q = 0,85$; $y = 0,8$, $x=0,8$ [20] .

$D = 25$ мм;

$S = 0,208$ мм/об;

$t = 1$ мм.

$$K_p = K_{\text{мр}}, K_{\text{мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{980}{750} \right)^{0,75} = 1,22.$$

Отже, $M_{\text{різ}} = 10 \cdot 0,031 \cdot 25^{0,85} \cdot 1^{0,8} \cdot 0,208^{0,8} \cdot 1,22 = 1,66$ Н·м.

Коефіцієнт запасу, що враховує особливості обробки [20] $K = 3,7$.

Із рівняння рівноваги (3.7) знаходимо необхідну силу затиску заготовки двома прихватами:

$$P_3 = \frac{K \cdot M_p}{2 \cdot f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^2 - R_1^2)}}, \quad (3.8)$$

$$P_3 = \frac{3,7 \cdot 1660}{2 \cdot 0,2 \cdot 64 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{77^3 - 70^3}{3(77^2 - 70^2)}} = 152 \text{ Н.}$$

Оскільки силовий механізм пристрою складається із клинового і важільного механізмів, рівняння, що визначає реальне зусилля на при хватах важелів визначається за формулою:

$$W = \frac{F_s}{2 \text{tg}(\beta + \varphi)} \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.9)$$

де β - половина кута при вершині подвійного клина, $\beta = 12^\circ$;

φ – кут тертя між поверхнею клина та направляючої, $\varphi = 11^\circ$;

l_1 – менша довжина важеля; $l_1 = 63$ мм ;

l_2 – більша довжина важеля; $l_2 = 105$ мм ;

η – коефіцієнт, що визначає втрати в елементах конструкції, $\eta = 0,9$;

F_s - сила на штоці пневмоциліндра.

Силу на штоці пневмоциліндра визначаємо за формулою [24] :

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

$$F_s = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,022^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2689,2 \text{ Н};$$

Тоді

$$W = \frac{2689,2}{2 \operatorname{tg}(12 + 11)} \frac{63}{105} \cdot 0,9 = 1710,5 \text{ Н}.$$

Отже, заготовка буде надійно закріплена на 015 агрегатній операції, оскільки реальна сила на штоці більша ніж необхідна сила затиску заготовки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Характеристика дільниці механічної обробки деталі, що проектується з точки зору охорони праці

Дільниця виготовлення деталі “Корпус” 732124.047 спроектована згідно вимог до будівель виробничого призначення згідно СНиП 2.09.02-85.

Порядок розташування устаткування і відстані між верстатами визначені розмірами верстатів, технологічними вимогами і вимогами техніки безпеки. До устаткування, що має електропривід є вільний підхід з усіх сторін шириною 1м зі сторони робочої зони та 0,6м – зі сторони неробочої зони.

При розробці плану виробничої дільниці враховані наступні вимоги:

1) Технологічне устаткування розміщено таким чином, що забезпечується потоковість виробничого процесу.

2) Розміщення технологічного устаткування, проходів та проїздів гарантує зручність та безпеку праці, можливість монтажу, демонтажу та ремонту устаткування.

3) Технологічне устаткування розміщено у відповідності із запроектованими підйомно-транспортними засобами.

4) Робочі місця оснащені згідно з вимогами наукової організації праці. Передбачені місця для міжопераційного накопичування заготовок та напівфабрикатів.

5) На робочих місцях передбачена площа, на якій розміщуються стелажі, тара, столи.

Дана дільниця спроектована так, що дає можливість реконструкції та технічного переоснащення виробництва, зміни технологічних процесів та переходу на нові види продукції.

Будівля відноситься до категорії робіт II а, для якої ступінь вогнестійкості III а.

Ширина виходу з приміщення 1,2м, а висота 2,2м. Ширина основних проходів всередині дільниці 1,5м, а ширина проїздів 2,5м.

Двері, що ведуть безпосередньо назовні, обладнані тамбуром (повітряними завісами).

З метою запобігання травматизму на ділянці застосовується попереджувальне фарбування будівельних конструкцій та знаки безпеки (ГОСТ 12.4.026-76 “Цвета сигнальные и знаки безопасности”).

Для захисту внутрішніх поверхонь конструкції приміщення від дії вологи використовується олійна фарба.

Підлога виробничого приміщення щільна, зносостійка, вогнестійка, через неї в інші приміщення не повинна проникати вода, мастила, шкідливі речовини, газу. Покриття підлоги вибрано у відповідності із СНиП 2.03.13-88.

Мікрокліматичні умови на ділянці згідно ГОСТ 12.1.005-88.

- температура повітря $t = (20..25)^{\circ} \text{C}$;
- відносна вологість $\Theta = (40..60) \%$;
- барометричний тиск $P = (0,9... 1,06) \cdot 10^5 \text{ Па}$;
- швидкість руху повітря $V = 0,2 \text{ м/с}$ в холодний період року, $V = 0,3 \text{ м/с}$ в теплий період року;
- інтенсивність тепловою опромінення від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлених установок 70 Вт/м^2 .

У виробничому та допоміжному приміщеннях передбачена вентиляція, яка забезпечує вищеперелічені параметри мікроклімату. В даному випадку застосована витяжна вентиляція загальнообмінна, так як на ділянці відсутні шкідливі виділення і необхідна мала кількість повітрообміну. Крім того, на ділянці є природна організована вентиляція.

На ділянці для компенсування втрат тепла спроектована центральна водяна система опалення низького тиску.

Вибір системи природного освітлення визначено об'ємно-планувальним рішенням будівлі, характеристиками технологічного процесу та зорової роботи, що виконується в приміщенні, а саме на ділянці 2-х стороннє бокове освітлення. При цьому ширина вікон 4,5 м, висота підвіконника 1,5 м.

Штучне освітлення передбачається як на даній ділянці так і у побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень у темний період доби. Загальне освітлення відповідає вимогам (СНиП-4-79 і становить $E_p = 300 \text{ лк}$; евакуаційне освітлення $E_{\text{св}} = 0,5 \text{ лк}$, аварійне освітлення $E_{\text{ав.}} = 2 \text{ лк}$ в середині приміщення, та $E_{\text{ав.}} = 1 \text{ лк}$ на території, охоронне освітлення

$E = 0,5$ лк на рівні землі.

На кожному верстаті встановлено місцеве (штучне) освітлення лампами розжарювання.

Забороняється при виконанні робіт користуватися тільки місцевим освітленням.

Джерелом штучного освітлення є газорозрядні лампи низького (люмінесцентні) тиску. Для механічних цехів використовують газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ, при цьому використовують світильники прямого світла ЛСП06. В даному випадку використані лампи ДРЛ-65.

Експлуатація технологічного оснащення пов'язана з виникненням шумів та вібрацій різної частоти та інтенсивності, а вони справляють несприятливий вплив на організм людини. На ділянці параметри шуму та вібрацій на робочих місцях відповідають ГОСТ 12.1.003-83* та ГОСТ 12.1.012-78*.

На ділянці по виготовленню деталі 732124.047 все технологічне обладнання заземлене. Захист від прямих ударів блискавок та вторинного прояву атмосферної електрики забезпечено влаштуванням блискавковідводів та заземленням обладнання, яке знаходиться на дільниці. Захист будівлі від прямих ударів блискавок виконано окремо розташованими стержневими (тросовими) блискавковідводами, які встановлені на будівлі. На дільниці заземлювачі захисного заземлення технологічного обладнання об'єднані з захистом від прямого удару блискавок.

4.2. Характеристика стихійних лих та їх наслідки

Стихійні лиха – природне явище (землетрус, потоп, снігові лавини, урагани, циклони, тайфуни, пожеги, виверження вулканів і інші), які носять надзвичайний характер і які призводять до порушення нормальної діяльності населення, смерті людей, руйнування і знищення матеріальних цінностей.

Стихійні лиха можуть виникати як незалежно один від одного, так і в взаємозв'язку: одне з них може притягнути за собою інше. Деякі з них часто виникають в результаті не завжди розумної діяльності (лісові і торф'яні пожежі, виробничі вибухи в гірській місцевості і т.п.).

Незалежно від джерела виникнення стихійні лиха характеризуються значними масштабами і різною тривалістю – від декілька секунд і хвилин (землетруси, снігові лавини) до декількох годин, днів (оповзні) і місяців (потопи).

Землетруси – це сильні коливання земної кори, які викликані тектонічними чи вулканічними причинами і які призводять до руйнувань будівель, приміщень, пожеж і людських втрат.

Основними характеристиками є: глибина джерела, магнітуда та інтенсивність енергії на поверхні землі.

Глибина джерела землетрусу зазвичай знаходиться в границях від 10 до 30 км, в ряді випадків вона може бути значно більшою.

Землетруси викликають і інші стихійні лиха, такі, як оповзні, лавини, цунамі, потопи (через прорив дамб), пожежі (при ушкодженні нафтоховищ і розриву газопроводів), ушкодження комунікацій, ліній енерго-, водопостачання і каналізацій, аварій на хімічних виробництвах з витоком (розливом) СДОР, а також на АТС з витоком (викидом) ртутних речовин в атмосферу та інші.

Для захисту від землетрусів виявляються сейсмічно небезпечні зони в різних регіонах, проводяться так звані сейсмічні районування. У таких зонах передбачають різні міри захисту, починаючи з виконання вимог і правил при побудові і реконструкції будівель та інших об'єктів до призупинення дії небезпечних виробництв (хімічних заводів, АТС і ін.).

Повінь – це значні затоплення місцевості в результаті підйому рівня води в річці, озері, водосховищах, які викликані різними причинами (опади, руйнування дамб і т.п.). Повені наносять великої матеріальної шкоди і призводять до людських жертв.

Безпосередня матеріальна шкода від повені заключається в пошкодженні і руйнуванні будинків, трас, ліній електропередач, пошкодженнь сільськогосподарських угідь і т.п.

Повені можуть супроводжуватися пожежами внаслідок обривів і коротких замикань електрокабелів і проводів, а також розривами

водопровідних і каналізаційних труб, електричних, телевізійних і телеграфних кабелів, які знаходяться в землі, із-за наступних нерівномірних осадків ґрунту.

Основні напрямки боротьби з повенями складається в зменшенні максимального розходу води в річці шляхом перерозподілу стоків (посадка лісозахисних смуг, виорювання землі впоперек схилів, і т.п.).

Поповзні – це сповзаюча суміш мас гірських порід вниз по схилу, які виникають через порушення рівноваги, яка викликана різними причинами (підмиванням породи водою, послаблення їх міцності внаслідок опадів, систематичними поштовхами, нерозумною сільськогосподарською діяльністю людини та інше).

Найдієвішим захистом від поповзнів є їх попередження. З комплексу попереджувальних заходів слід відмітити збір і відвід поверхневих вод, штучне перетворення рельєфу (в зоні можливого відриву землі зменшують навантаження на схили), фіксацію схилу за допомогою будівельних опорних стінок.

Снігові лавини наносять матеріальну шкоду і супроводжуються смертю людей. Захист від лавин може бути пасивний і активний. При пасивному захисті уникають використання лавинонебезпечних схилів чи ставлять на них загороджуючі щити. При активному захисті робиться обстріл лавинонебезпечних схилів, викликаючи зміщення невеликих небезпечних лавин, перешкоджаючи таким чином накопиченню критичних мас снігу.

Буревії – це вітри силою 12 балів по шкалі Бофорта, тобто вітри, швидкість яких перевищує 32,6 м/с (117,3 км/год).

Буревії називають також і тропічними циклонами, які виникають в Тихому океані поблизу берегів Центральної Америки; на Дальньому Сході і в районах Індійського океану буревії носять назву тайфуни. Підчас тропічних циклонів швидкість вітру часто сягає 50 м/с. Циклони і тайфуни супроводжуються зазвичай інтенсивними проливними дощами.

Буревії на суходолі руйнують будівлі, лінії зв'язку і електропередач, пошкоджують комунікації і мости, ламають і виривають з коренями дерева; при

розповсюдженні над морем викликають великі хвилі висотою 10-12 м і більше, пошкоджують чи навіть призводять до знищення суден.

Сучасні методи прогнозу погоди дозволяють за декілька годин і навіть днів попереджувати населення про насування буревіїв (штормів), а служба ЦО може надати необхідну інформацію про можливу обстановку і необхідні дії в ситуаціях, які виникли.

Найбільш надійний захист населення від буревіїв – використання захисних будівель (метро, сховища, підземних переходів, підвалів будинків і т.п.). при цьому необхідно враховувати можливе затоплення ділянок і вибирати захисні сховища на підвищених ділянках місцевості.

Пожежі – це не контрольований процес горіння, який тягне за собою смерть людей і знищення матеріальних цінностей.

Причинами виникнення пожеж є недбалість, необережність з вогнем, порушення правил пожежної безпеки, таке явище природи, як блискавки, samozapalювання сухих рослин і торфу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі запропоновано схему зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь з використання спеціальних оправок із рівномірно розміщеними по колу підпружиненими кульками. Виведено рівняння для знаходження кута взаємодії кульок із поверхнею отвору та побудовано графіки залежності цього кута від основних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору.

Встановлено, що величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має найбільший вплив на величину кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору із всіх решти конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору. При збільшенні величини переміщення h , кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зростає, що впливає на значення проекції сил, що діють у зоні контакту на вісі z та y . Найбільший приріст кута α відбувається при збільшенні величини h від 0 мм до 0,5 мм.

При збільшенні величини радіуса R_i оправки разом із кульками, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зменшується. Якщо радіус R_i оправки разом із кульками наближається за величиною до радіусу R_o отвору, що обробляється, то спостерігається значення мінімуму функції. Мінімальне значення кута $\alpha = 38$ град досягається при $R_i = 24$ мм. При збільшенні радіуса R_i оправки разом із кульками від 12 мм до 30 мм відбувається зменшення кута α до 42%.

При збільшенні величини радіуса R_o отвору, що обробляється, кут α взаємодії кульок із поверхнею отвору зменшується. Якщо радіус R_o отвору, що обробляється дорівнює величині радіусу R_i оправки разом із кульками, то значення кута α наближається до 90 градусів. В інших випадках при збільшенні радіуса R_o отвору, що обробляється від 40 мм до 80 мм відбувається зменшення кута α до 32%.

Величина радіуса R_k кульки має найменший вплив на величину кута α взаємодії кульок із поверхнею отвору із всіх решти конструктивних параметрів процесу зміцнення поверхні отвору. При збільшенні радіуса R_k кульки від 2,5 мм до 5 мм відбувається зростання кута α до 8%

Величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має найбільший вплив на проекції сили взаємодії P_v між кулькою та поверхнею отвору та сили тертя F_{t2} між кулькою та поверхнею отвору. При збільшенні величини переміщення h сили P_v та F_{t2} зростають, при цьому при збільшенні h від 0,5 мм це зростання носить лінійний характер.

Величина переміщення h кульки при взаємодії із поверхнею отвору має незначний вплив на величину крутних моментів та потужностей для обертання оправки із кульками та заготовки. При збільшенні величини переміщення h крутний момент M_1 обертання оправки із кульками зростає, а крутний момент M_2 обертання заготовки із отвором зменшується. Відповідно при збільшенні величини переміщення h потужність N_1 обертання оправки із кульками зростає, а потужність N_2 обертання заготовки із отвором зменшується.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 732.124.047 з вибором і розрахунком заготовки, припусків на оброблення, режимів різання, норм часу та обґрунтуванням параметрів затискного пристрою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71,72,73,74,75,76 (в отдельных книгах). М.: Издательство стандартов, 1986. 235 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, 2022. – 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Дьячков В. Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 328 с.
6. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
7. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
8. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 1986. 656 с.
10. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1972. 258 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
12. Горбачев А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 288 с.
13. Итин А. М., Родичев Ю. Я. Наладка и эксплуатация токарных

многоспindelных полуавтоматов. М. : Машиностроение, 1977. 136 с.

14. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1966. 650 с.

15. 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.

16. M.H.El-Axir, "An investigation into roller burnishing", International Journal of Machine Tool and Manufacture, vol. 40, pp.1603-1617, 2000.

17. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

18. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.

19. Fang-Jung Shiou ,Chien-Hua Chen, "Freeform surface finish of plastic injection mold by using ball-burnishing process", Journal of Materials Processing Technology, vol. 140, pp.248-254, 2003.

20. 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.

21. Тимчук П. Результати експериментальних досліджень крутного моменту при зміцненні канавок / П. Тимчук, І. Тарасенко, А. Дячун // Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання", 28-29 квітня 2022 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. С. 29.

22. M. H. El-Axir, O. M. Othman, A. M. Abodiena, "Study On The Inner Surface Finishing Of Aluminum Alloy 2014 By Ball Burnishing Process", Journal of Engineering Research, vol.5, pp.1-5, 2006.

23. N.S.M.El-Tayeb, K.O.Low, P.V.Brevern, "Influence of Roller Burnishing Contact Width and Burnishing Orientation on Surface Quality and Tribological

Behavior of Aluminum 6061”, *Journal of Material Processing Technology*, vol. 186, pp.272-278, 2007.

24. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

25. Ugur Esme, Mustafa Kemal Kulekci, Sueda Ozgun, Yigit Kazancoglu, “Predictive Modeling of Ball Burnishing Process”, *MP Materials Testing*, vol. 3, pp.187-192, 2013.

26. Włodzimierz Przybylski. Sliding burnishing technology of holes in hardened steel. *Advances in manufacturing science and technology*. Vol. 40, No. 3, 2016.

27. Третьяков О.Л. Обґрунтування параметрів виготовлення гвинтових робочих органів екструдерів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / О.Л. Третьяков. – Тернопіль, 2019. – 208 с.

28. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning / Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka // *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange*. IV. DSMIE 2021. - Springer, Cham., 2021. - p. 385-394.

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

30. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами / О.Л. Ляшук, А.Є. Дячун, В.М. Клендій, О.Л. Третьяков // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – Івано-Франківськ, 2018. – №. 1 (66). - С. 38-43.

31. Дячун А.Є. Дослідження методом 3d сканування шорсткості гвинтових поверхонь після процесу ударного зміцнення / А.Є. Дячун, В.О. Дзюра, В.М. Клендій, О.Л. Третьяков // *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей*. – Луцьк, 2017. – №38. - С. 66-74.