

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 737186.012 з  
дослідженням процесу свердління отворів

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Сокальський І.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Сенчишин В.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дячун А.Є.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення 737186.012 з дослідженням процесу свердління отворів”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження параметрів процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки. Розроблено розрахункову схему для дослідження впливу геометричних параметрів заготовки на виникнення різниці протилежно направлених сил різання при свердлінні отвору. Одержано рівняння для знаходження глибини різання лівої та правої кромки свердла. Виведено залежності максимальної різниці між глибиною різання правої кромки та глибиною різання лівої кромки а також максимальної різниці протилежно направлених радіальних сил різання при свердлінні отвору.

Визначені максимальні різниці протилежно направлених сил різання при свердлінні отвору є достатніми для деформування свердла і мають вплив на точність оброблення отвору.

Представлено результати експериментальних досліджень розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки. Визначено, що найбільший вплив на величину розбиття отвору після свердління на нахиленій поверхні має подача свердла. Менший вплив має діаметр свердла і найменший – кут нахилу поверхні заготовки.

Виведено рівняння регресії залежності розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки від параметрів процесу.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 737186.012.

## 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 параметрів процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки.....	
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

Свердління отворів є важливим процесом, що охоплює більше третини усіх операцій механічної обробки у промисловості. Значна кількість операцій свердління застосовується в аерокосмічній, автомобільній промисловості, при виготовленні медичних пристроїв, штампів, пресформ та в інших галузях промисловості.

Звичайні спіральні свердла із конусною поверхнею при вершині не забезпечують необхідних показників точності при свердлінні отворів на нахилених поверхнях заготовки відносно осі симетрії інструменту а також при розсвердлюванні попередньо оброблених отворів із ексцентриситетом. Серед основних причин виникнення похибок при свердлінні отворів є деформація свердла у вигляду згину консольної балки, що зумовлена декількома основними показниками. Основним показником є виникнення на двох ріжучих кромках різних за величиною протилежно направлених сил різання. Різниця цих сил є зовнішнім силовим фактором для виникнення згину свердла, а відповідно до зниження точності обробленого отвору.

Для одержання отворів з високою точністю розташування, малими допусками, шорсткістю поверхні та відхиленнями від круглості необхідним є правильний вибір послідовності виконання операцій формування отвору а також умов та режимів різання. Точність розташування отворів визначається на першій операції свердління, тоді як інші параметри можна вдосконалити додатковими операціями.

Тому подальші дослідження процесу свердління отворів на нахилених поверхнях заготовки є актуальними.

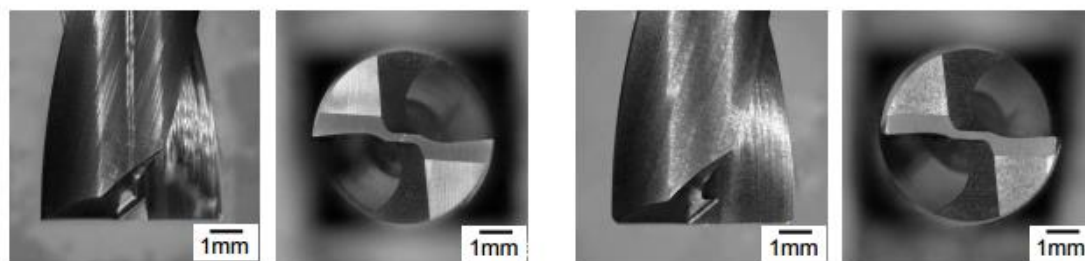
Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 737186.140.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання

Свердління отворів є важливим процесом, що охоплює більше третини усіх операцій механічної обробки у промисловості [12]. Значна кількість операцій свердління застосовується в аерокосмічній, автомобільній промисловості, при виготовленні медичних пристроїв, штампів, пресформ та в інших галузях промисловості. Звичайні спіральні свердла із конусною поверхнею при вершині не забезпечують необхідних показників точності при свердлінні отворів на нахилених поверхнях заготовки відносно осі симетрії інструменту а також при розсвердлюванні попередньо оброблених отворів із ексцентриситетом. Для свердління отворів на нахилених поверхнях а також для свердління глухих отворів із плоским дном використовуються свердла із плоскою вершиною, тобто із кутом при вершині свердла 180 градусів. Перевагою таких свердел порівняно із свердлами із кутом при вершині меншим за 180 градусів є те, що радіальні сили різання, що призводять до деформації свердла є меншими. У роботі [15] автори дослідили сили різання, які вникають при свердлінні отворів на нахилених поверхнях свердлами із плоским вершинами. Радіальна складова сили різання для таких інструментів є стабільною величиною і не залежить від кута нахилу поверхні. У роботі авторів Heisel, Pfeifroth [18] проведено дослідження процесу свердління карбонових волокнистих матеріалів свердлами із різними значеннями кутів при вершині. При використанні свердел з кутом при вершині більше 180 градусів при вершині отвору спостерігалось формування заусенців та розшарування матеріалу. При розсвердлюванні отворів під потайні гвинти на кутовій поверхні отвору формують радіусні спряження з метою зменшення концентрації напружень. Для виконання такої операції використовуються свердла із плоскою вершиною та радіусною поверхнею на зовнішньому діаметрі, що забезпечує підвищення продуктивності та точності обробки отворів.

У роботі [19] досліджено вплив заокруглення радіусної частини свердла на сили різання та шорсткість обробленої поверхні. Експериментальні дослідження проведено на оброблюючому центрі FANAC RoboDrill  $\alpha$ -T14iF з виконанням свердління отворів у плиті товщиною 10 мм із алюмінієвого сплаву A7075. Для свердління отворів використано свердла із плоскою поверхнею при вершині із гострими кутами та із заокругленими до 0,4 мм кутами (рис. 1.1) з метою вивчення впливу заокруглення поверхонь інструментів діаметром 6 мм, що покриті тонким шаром AlCrTi на процес свердління. Радіус при вершині різальних кромek обох інструментів був менше 5 мкм. Для уникнення впливу перемички свердла на процес різання у заготовці попередньо свердлили отвори діаметром 2 мм. Отвори довжиною 3 мм свердлились із такими режимами різання: подача на один зуб свердла 0,0125 мм та 0,25 мм; частота обертання шпинделя 2654 об/хв та 5308 об/хв, що відповідало швидкостям різання 50 м/хв та 100 м/хв відповідно. Для вимірювання сил різання та крутних моментів різання використано динамометр Kistler 9272. Період збору даних про сили різання системою Keyence NR-500 становив 0,1 мілісекунди.



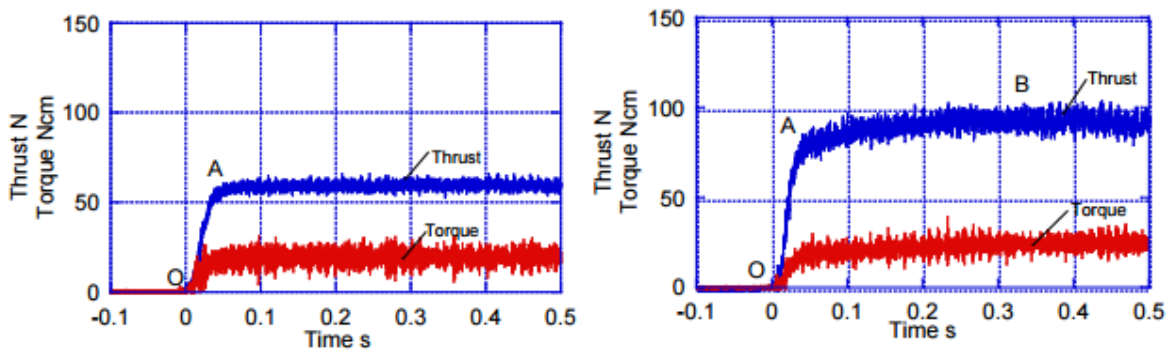
а)

б)

Рисунок 1.1 – Свердла із плоскими вершинами для свердління отворів на нахилених поверхнях а) із гострими кутами б) із заокругленою радіусною частиною [19]

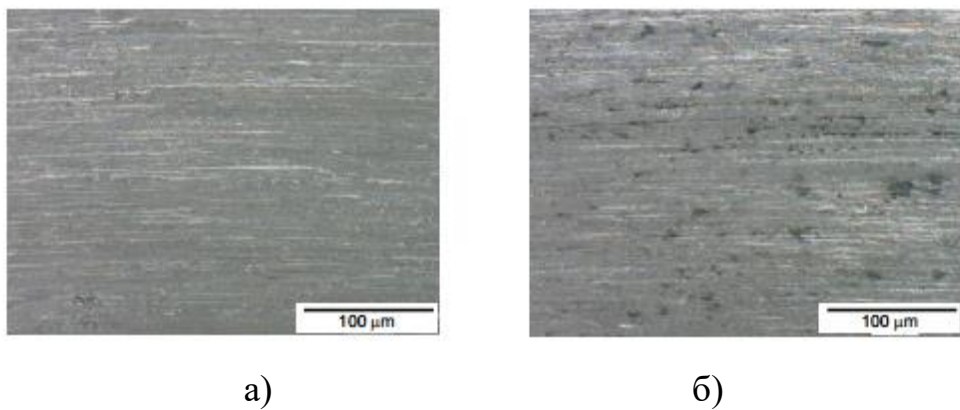
На рис. 1.2 результати вимірювання сили різання та крутних моментів різання, що виникають при обробці свердлами із гострими кутами та із заокругленою радіусною частиною при частоті обертання шпинделя 2654 об/хв

та подачі 0, 0125 мм/зуб. Спостерігається різке зростання сил різання протягом 0,05 секунд з наступною стабілізацією на певній величині.



а) б)  
Рисунок 1.2 – Графіки зміни в часі сили різання та крутних моментів різання, що виникають при обробці свердлами із гострими кутами а) та із заокругленою радіусною частиною б) [19]

На рис. 1.3 представлено фотографії циліндричних поверхонь одержаних в результаті свердління отворів свердлами із гострими кутами та із заокругленою радіусною частиною. Фотографії зроблено із використання оптичного мікроскопа. При використанні свердла із гострими кутами відбувалось однорідної поверхні, тоді як при використанні свердла із заокругленою радіусною частиною спостерігалось формування чорних площин, які пояснюються виникненням явища адгезії, скільки вони були дещо вищими ніж поверхня навколо них.



а) б)  
Рисунок 1.3 – Поверхні одержані в результаті свердління отворів свердлами із гострими кутами а) та із заокругленою радіусною частиною б) [19]

На рис. 1.4 представлено профілограми шорсткості поверхонь одержаних в результаті свердління отворів свердлами із гострими кутами та із заокругленою радіусною частиною. Період зміни шорсткості оброблених поверхонь відповідав подачі свердла 0,025 мм/зуб. При свердлінні отворів свердлами із гострими кутами шорсткість поверхні була вищою.

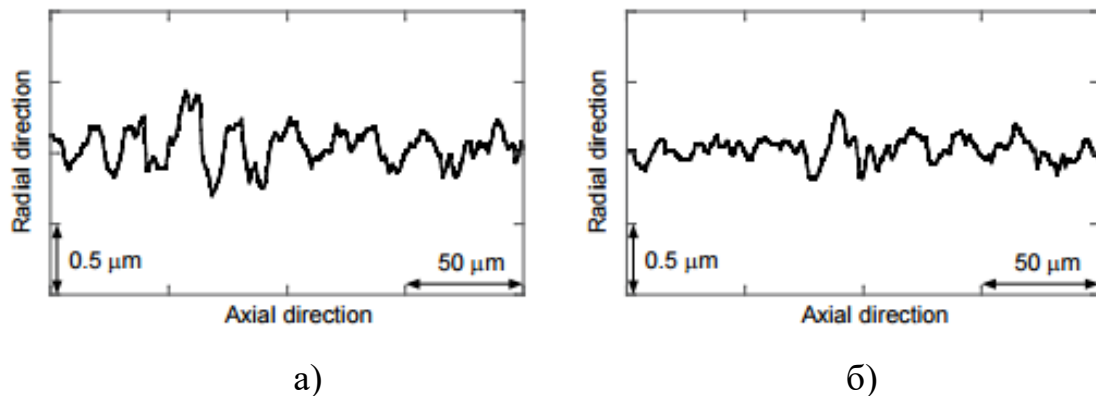


Рисунок 1.4 – Профілограми шорсткості поверхонь одержаних в результаті свердління отворів свердлами із гострими кутами а) та із заокругленою радіусною частиною б) [19]

У компанії Gühring [21] для свердління отворів на звичайних плоских поверхнях використовують свердла із кутом при вершині 140 градусів, що дає хороше поєднання продуктивності та стабільності різання, особливо при свердлінні заготовок із металу. Проте рішення, що функціонують досконало на горизонтальних поверхнях можуть привести до проблем при свердлінні на нахилених і криволінійних поверхнях. У випадку застосування свердла із кутом при вершині 140 градусів одностороннє радіальне навантаження призводить до відведення свердла з подальшими вібраціями. При подальшому врізанні свердла виникає значна сила його згину, яка у найгіршому варіанті може привести до руйнування свердла. Для уникнення цього явища при свердлінні отворів на нахилених і криволінійних поверхнях пропонується два варіанти. Перший варіант полягає у тому, що на поверхні за допомогою фрези формується плоска горизонтальна поверхня, на якій проводиться свердління отвору. Другий варіант полягає у застосуванні свердла RT 100 FB (рис. 1.5) без



попереднього фрезерування поверхні, що дозволяє зменшити кількість переходів та час на обробку.



Рисунок 1.5 – Застосування свердла RT 100 FB компанії Gühring для свердління отворів на нахилених і криволінійних поверхнях [21]

Свердла RT 100 FB мають кут при вершині 180 градусів а також прямі ріжучі кромки, дозволяють надійно свердлити отвори на нахилених на криволінійних поверхнях з кутом нахилу до 45 градусів, створюють хороші умови для подальшої обробки отворів з метою підвищення їх точності та зменшення шорсткості поверхні.

Для одержання отворів з високою точністю розташування, малими допусками, шорсткістю поверхні та відхиленнями від круглості необхідним є правильний вибір послідовності виконання операцій формування отвору а також умов та режимів різання. Точність розташування отворів визначається на першій операції свердління, тоді як інші параметри можна вдосконалити додатковими операціями. Тому виникає необхідність у дослідженні співвідношення між силами різання в процесі свердління та точністю розташування отворів. Така інформація важлива для вибору режимів різання а також для впровадження у експертні системи, що використовуються для вибору послідовності операцій формування отвору. Похибка розташування отвору зростає, якщо кут між поверхнею заготовки та свердлом не дорівнює 90 градусам, тому часто уникають свердління отворів на нахилених поверхнях.

Таке відхилення в основному визначається на початковому етапі врізання свердла у заготовку, при цьому виникають сили, які зміщують свердло від заданого розташування. Тому найважливішими параметрами, які сприяють зменшенню сили різання а також підвищенню жорсткості інструменту є: діаметр і довжина свердла, геометрія вершини свердла, подача свердла та швидкість різання, матеріал заготовки, поверхнева шорсткість, застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ, жорсткість верстата.

Дослідженнями роботи [22] встановлено взаємозв'язок між нахилом поверхні заготовки (0, 2,5, 5 град), довжиною вильоту свердла (55, 86, 132 мм) та позиціюванням отвору. Встановлено, що похибка розміщення отвору має приблизно лінійне співвідношення із кутом нахилу поверхні. На нахиленій поверхні таку похибку можна задати двома складовими. Перша складова – систематична похибка, яку представлено у вигляді кута зміщення відносно осі  $x$  на відстані  $A$ . Друга складова – випадкова похибка (рис. 1.6). Систему координат вибрано відповідно до стандартів верстатів з ЧПК.

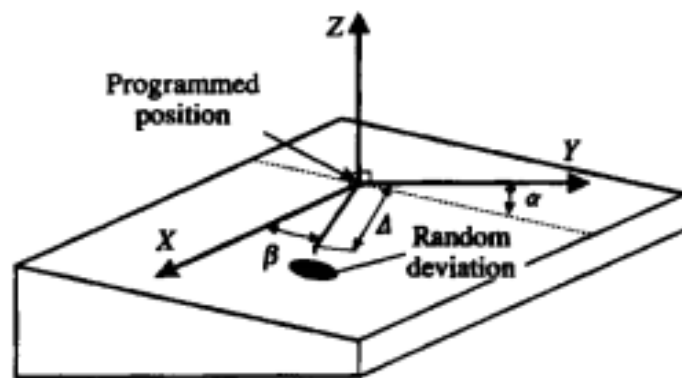


Рисунок 1.6 – Параметри випадкової похибки позиціювання отвору в процесі свердління на нахиленій поверхні [22]

Метою експериментальних досліджень роботи [23] було визначити вплив режимів різання на похибки розташування отворів при свердлінні стандартними інструментами. На рис. 1.7 показано відхилення розташування отворів залежно від різних подач свердла. Збільшення подачі свердла призводить до збільшення відхилення свердла, а відповідно і до більшого

зміщення отвору відносно запрограмованого місця розташування на поверхні заготовки.

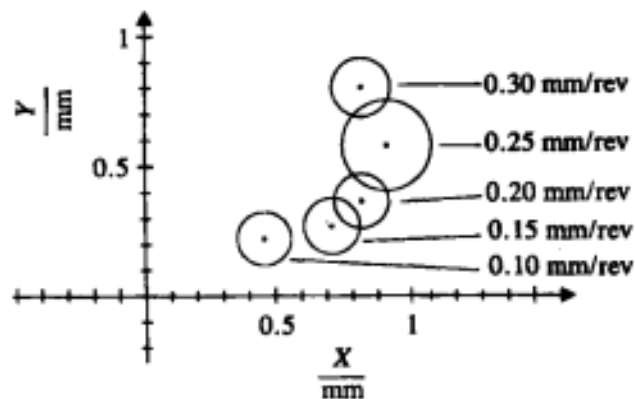


Рисунок 1.7 – Відхилення розташування отворів від нульової позиції залежно від різних подач свердла при куті нахилу поверхні заготовки 5 градусів [23]

У роботі [23] процес свердління отворів на нахиленій поверхні розбито на три стадії. Перша стадія – врізання свердла у заготовку. Оскільки швидкість різання у центрі свердла дорівнює нулю, а передній кут негативний, тільки перемичка свердла діє частково як ріжучий інструмент. В основному виникає пластична деформація матеріалу заготовки, а свердло обертається навколо кута кромки перемички. Отже виникає зміщення свердла. Друга стадія виникає в момент початку різання матеріалу ріжучими кромками, при цьому також можливе відхилення свердла. Третя стадія розпочинається коли зовнішні кути ріжучих кромки перебувають у контакті із стінками отвору, при цьому зміщення позиції отвору є незначною.

На рис. 1.8 представлено графіки залежності зміни сили різання у площині XY під час врізання свердла у заготовку з кутом нахилу поверхні 5 градусів, подачею 0,22 мм/об, швидкістю різання 23,6 м/хв. Найбільше зростання сили різання виникає на першій стадії та на початку другої стадії. Деяке зменшення сил різання виникає в кінці другої стадії та на початку третьої стадії.

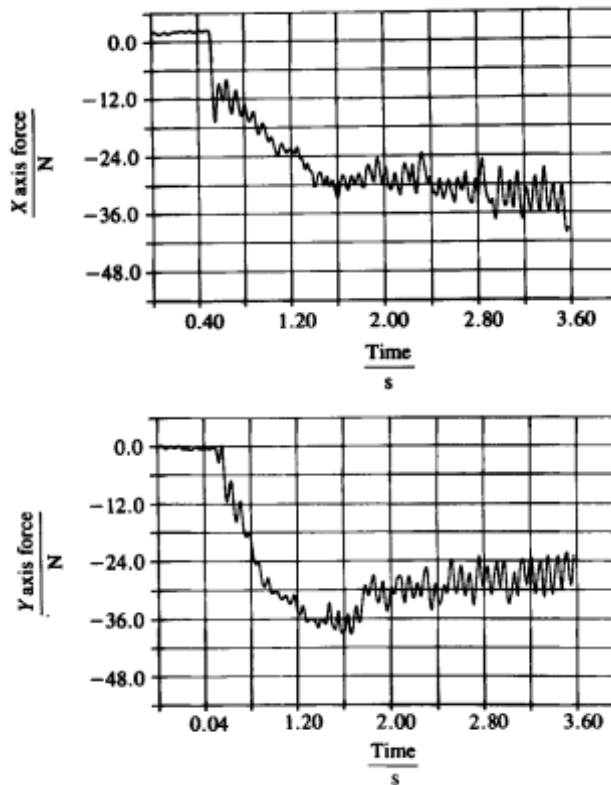


Рисунок 1.8 – Графіки залежності зміни сили різання у площині ХУ під час врізання свердла у нахилену поверхню заготовки [23]

## 1.2. Висновки та постановка завдань

Свердління отворів є важливим процесом, що охоплює більше третини усіх операцій механічної обробки у промисловості. Звичайні спіральні свердла із конусною поверхнею при вершині не забезпечують необхідних показників точності при свердлінні отворів на нахилених поверхнях заготовки відносно осі симетрії інструменту а також при розсвердлюванні попередньо оброблених отворів із ексцентриситетом.

Для свердління отворів на нахилених поверхнях а також для свердління глухих отворів із плоским дном використовуються свердла із плоскою вершиною. Для одержання отворів з високою точністю розташування, малими допусками, шорсткістю поверхні та відхиленнями від круглості необхідним є правильний вибір послідовності виконання операцій формування отвору а також умов та режимів різання. Точність розташування отворів визначається на

першій операції свердління, тоді як інші параметри можна вдосконалити додатковими операціями.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження параметрів процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки.
2. Дослідити вплив геометричних параметрів заготовки на виникнення різниці протилежно направлених сил різання при свердлінні отвору.
3. Вивести залежності максимальної різниці між глибиною різання двох кромek свердла а також максимальної різниці протилежно направлених радіальних сил різання при свердлінні отвору від параметрів процесу.
4. Провести експериментальні дослідження розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки.
5. Вивести рівняння регресії залежності розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки від параметрів процесу.
6. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 737186.012.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Дослідження параметрів процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки

Серед основних причин виникнення похибок при свердлінні отворів є деформація свердла у вигляді згину консольної балки, що зумовлена декількома основними причинами. Основною причиною є виникнення на двох ріжучих кромках різних за величиною протилежно направлених сил різання. Різниця цих сил є зовнішнім силовим фактором для виникнення згину свердла, а відповідно до зниження точності обробленого отвору. Різниця вказаних сил може бути зумовлена як геометричними параметрами свердла, так і геометричними параметрами і властивостями матеріалу заготовки. До параметрів свердла можна віднести похибку заточування двох різних кромek свердла, а також неврівноважені сили тертя на перемичці в момент врізання свердла у заготовку. До параметрів заготовки можна віднести неоднорідність матеріалу, відхилення від перпендикулярності між поверхнею заготовки та віссю обертання свердла, зокрема нахил поверхні під деяким кутом, радіусна чи овальна поверхня, при якій вісь свердла зміщена відносно центра радіусної поверхні.

Для дослідження впливу геометричних параметрів заготовки на виникнення різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору розроблено розрахункову схему на рис. 2.1. У схемі враховано випадок врізання свердла у поверхню заготовки, що нахилена під кутом  $\alpha$ . При свердлінні отвору на такій поверхні на правій та лівій ріжучих кромках виникають різні глибини різання  $t_1$  та  $t_2$  відповідно, а отже і різні сили різання.

Ріжучі кромки прийнято у вигляді прямих відрізків через мале значення їх кривизни. Права кромка свердла зі сторони точки  $A$  зрізає більший шар матеріалу ніж ліва кромка свердла зі сторони точки  $B$ . Найбільша різниця

глибин різання  $t_1$  та  $t_2$  виникає у момент контакту правою кромкою свердла із заготовкою по всій довжині із досягненням максимальної глибини різання.

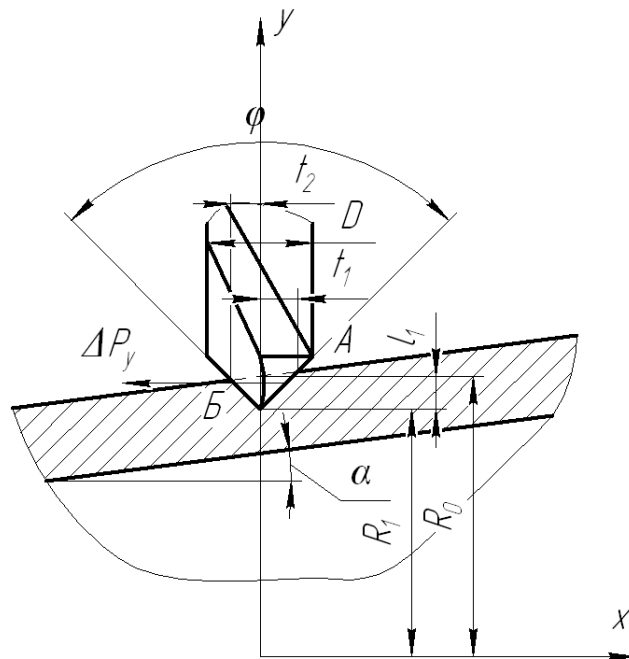


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для визначення впливу геометричних параметрів заготовки на виникнення різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору

Глибину різання  $t_1$  правої кромки в системі координат  $xOy$  визначаємо як відстань  $x_A$  від вісі свердла до точки  $A$  перетину нахиленої поверхні заготовки та правої кромки свердла:

$$t_1 = x_A. \quad (2.1)$$

Глибину різання  $t_2$  лівої кромки в системі координат  $xOy$  визначаємо як відстань  $x_B$  від вісі свердла до точки  $B$  перетину нахиленої поверхні заготовки та лівої кромки свердла:

$$t_2 = |-x_B|. \quad (2.2)$$

Рівняння зовнішньої нахиленої поверхні заготовки у вибраній системі координат  $xOy$ :

$$y_1 = \operatorname{tg} \alpha x + R_0, \quad (2.3)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу поверхні заготовки;

$R_0$  - відстань від початку системи координат  $xOy$  до точки врізання свердла у заготовку.

Рівняння лінії правої кромки свердла у вибраній системі координат  $xOy$ :

$$y_2 = \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right) x + R_1, \quad (2.4)$$

де  $\varphi$  - кут при вершині свердла;

$R_1$  - відстань від початку системи координат  $xOy$  до вершини свердла, що врізається у заготовку.

Рівняння лінії лівої кромки свердла у вибраній системі координат  $xOy$ :

$$y_3 = \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right) x + R_1. \quad (2.5)$$

Відстань від початку системи координат  $xOy$  до вершини свердла визначаємо відповідно до рис. 2.1:

$$R_1 = R_0 - l_1, \quad (2.6)$$

де  $l_1$  - довжина врізання конусної частини свердла у заготовку.

Графіки рівнянь лінії зовнішньої нахиленої поверхні заготовки, лінії правої кромки свердла та лінії лівої кромки свердла у вибраній системі координат  $xOy$  представлено на рис. 2.2.

Для знаходження відстані  $x_A$  від вісі свердла до точки  $A$  перетину нахиленої поверхні заготовки та правої кромки свердла розв'яжемо систему рівнянь:



$$\left. \begin{aligned} y &= \operatorname{tg} \alpha x_A + R_0; \\ y &= \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right) x_A + (R_0 - l_1). \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Після розв'язку системи рівнянь (2.7) одержали вираз для знаходження глибини різання  $t_1$  правої кромки як відстані  $x_A$  від вісі свердла до точки А перетину нахиленої поверхні заготовки та правої кромки свердла:

$$t_1 = x_A = \frac{-l_1}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right)}. \quad (2.8)$$

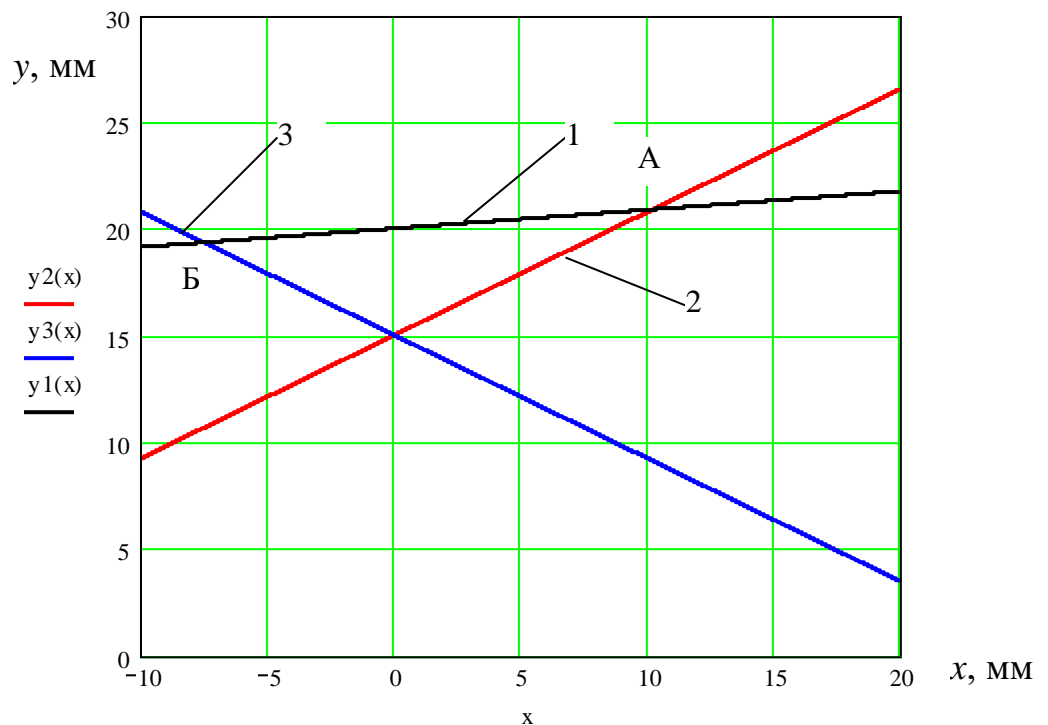


Рисунок 2.2 – Графіки рівнянь лінії 1 зовнішньої нахиленої поверхні заготовки, лінії 2 правої кромки свердла та лінії 3 лівої кромки свердла:

$$\alpha = 5 \text{град}, R_1 = 15 \text{ мм}, \varphi = 120 \text{ град}; R_0 = 20 \text{ мм}$$

Для знаходження відстані  $x_B$  від вісі свердла до точки  $B$  перетину нахиленої поверхні заготовки та лівої кромки свердла розв'яжемо систему рівнянь:

$$y = \operatorname{tg} \alpha x_B + R_0;$$

$$y = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2}\right)x_B + (R_0 - l_1). \quad (2.9)$$

Після розв'язку системи рівнянь (2.9) одержали вираз для знаходження глибини різання  $t_2$  лівої кромки як відстані  $x_B$  від вісі свердла до точки Б перетину нахиленої поверхні заготовки та лівої кромки свердла:

$$t_2 = |-x_B| = \left| \frac{-l_1}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2}\right)} \right|. \quad (2.10)$$

На основі рівнянь (2.8) та (2.10) на рис. 2.3 побудовано графіки залежності глибини різання  $t_1$  правої кромки як відстані  $x_A$  та глибини різання  $t_2$  лівої кромки як відстані  $x_B$  від довжини  $l_1$  врізання конусної частини свердла у заготовку.

Із графіків на рис. 2.3 бачимо, що при збільшенні довжини  $l_1$  врізання конусної частини свердла у заготовку глибина різання  $t_1$  правої кромки (крива 1) та глибина різання  $t_2$  лівої кромки (крива 2) зростають до досягнення максимальної глибини різання  $t_{\max} = \frac{D}{2}$ , де  $D$  – діаметр свердла. Глибина різання  $t_1$  правої кромки досягає величини  $t_{\max} = 5$  мм при  $l_1 = 2,45$  мм, тоді як глибина різання  $t_2$  лівої кромки досягає величини  $t_{\max} = 5$  мм при  $l_1 = 3,32$  мм.

Різниця  $\Delta t$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки визначається за формулою:

$$\Delta t = t_1 - t_2. \quad (2.11)$$

Максимальна різниця  $\Delta t$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки виникає при досягненні правою кромкою величини  $t_{\max} = \frac{D}{2}$ .

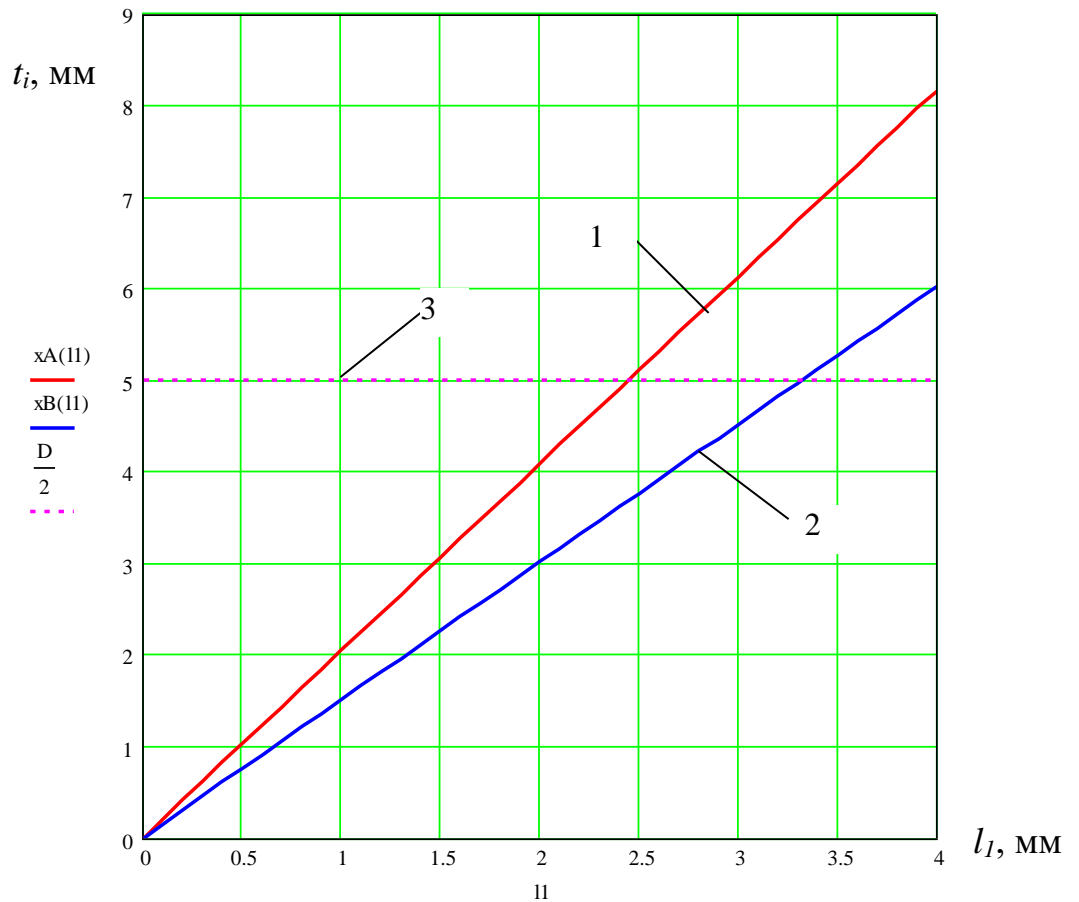


Рисунок 2.3 – Графіки залежності глибини різання  $t_1$  правої кромки як відстані  $x_A$  (крива 1) та глибини різання  $t_2$  лівої кромки як відстані  $x_B$  (крива 2) від довжини  $l_1$  врізання конусної частини свердла у заготовку: 3 – максимально досяжна глибина різання  $t_{\max} = 5$  мм;  $\alpha = 5$ град,  $\varphi = 120$  град

Для знаходження довжини врізання конусної частини свердла у заготовку, при якій глибина різання  $t_1$  правої кромки досягає величини  $t_{\max}$  підставляємо глибину різання  $t_1 = \frac{D}{2}$  у рівняння (2.8):

$$\frac{D}{2} = \frac{-l_{1A}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right)}. \quad (2.12)$$

Із рівняння (2.12) знаходимо довжину врізання конусної частини свердла у заготовку, при якій глибина різання  $t_1$  правої кромки досягає величини  $t_{\max}$ :

$$l_{1A} = \frac{-D}{2} \left( \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) \right). \quad (2.13)$$

Для знаходження довжини врізання конусної частини свердла у заготовку, при якій глибина різання  $t_2$  лівої кромки досягає величини  $t_{\max}$  підставляємо глибину різання  $t_2 = \frac{D}{2}$  у рівняння (2.10):

$$\frac{D}{2} = \left| \frac{-l_{1B}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right)} \right|. \quad (2.14)$$

Із рівняння (2.14) знаходимо довжину врізання конусної частини свердла у заготовку, при якій глибина різання  $t_2$  лівої кромки досягає величини  $t_{\max}$ :

$$l_{1B} = \frac{D}{2} \left( \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) \right). \quad (2.15)$$

Для знаходження глибини різання  $t_2$  лівої кромки, при якій глибина різання  $t_1$  правої кромки досягає величини  $t_{\max}$  підставляємо рівняння (2.13) у рівняння (2.10):

$$t_2 = \left| \frac{\frac{D}{2} \left( \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) \right)}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right)} \right|. \quad (2.16)$$

При цьому максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки на основі рівнянь (2.11) та (2.16) визначається за формулою:

$$\Delta t_{\max} = \frac{D}{2} \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right)} \right). \quad (2.17)$$

На основі рівняння (2.17) побудовано графіки залежності максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки (рис. 2.4) та від кута  $\varphi$  при вершині свердла (рис. 2.5).

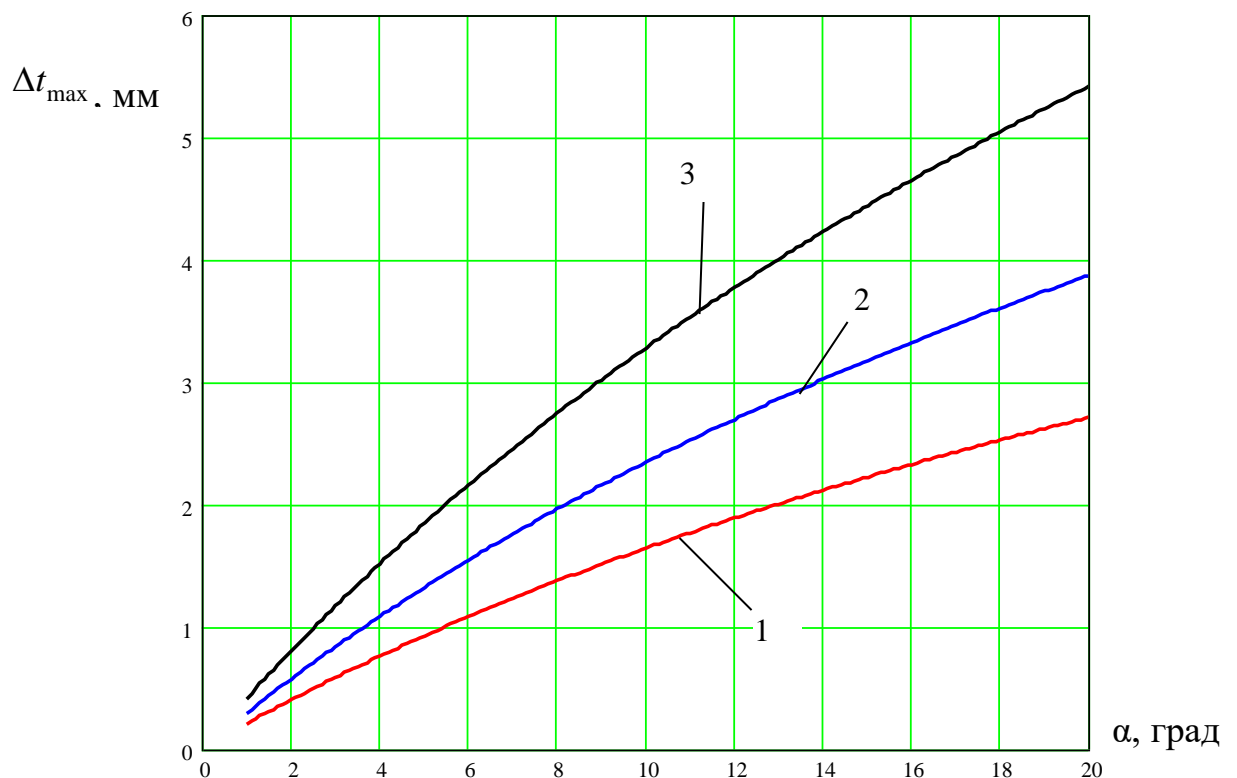


Рисунок 2.4 – Графіки залежності максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки:  $\varphi = 120$  град: 1 –  $D=7$  мм; 2 –  $D=10$  мм; 3 –  $D=14$  мм

Із графіків на рис. 2.4, 2.5 бачимо, що при збільшенні кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки, кута  $\varphi$  при вершині свердла та діаметра свердла  $D$

максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки зростає.

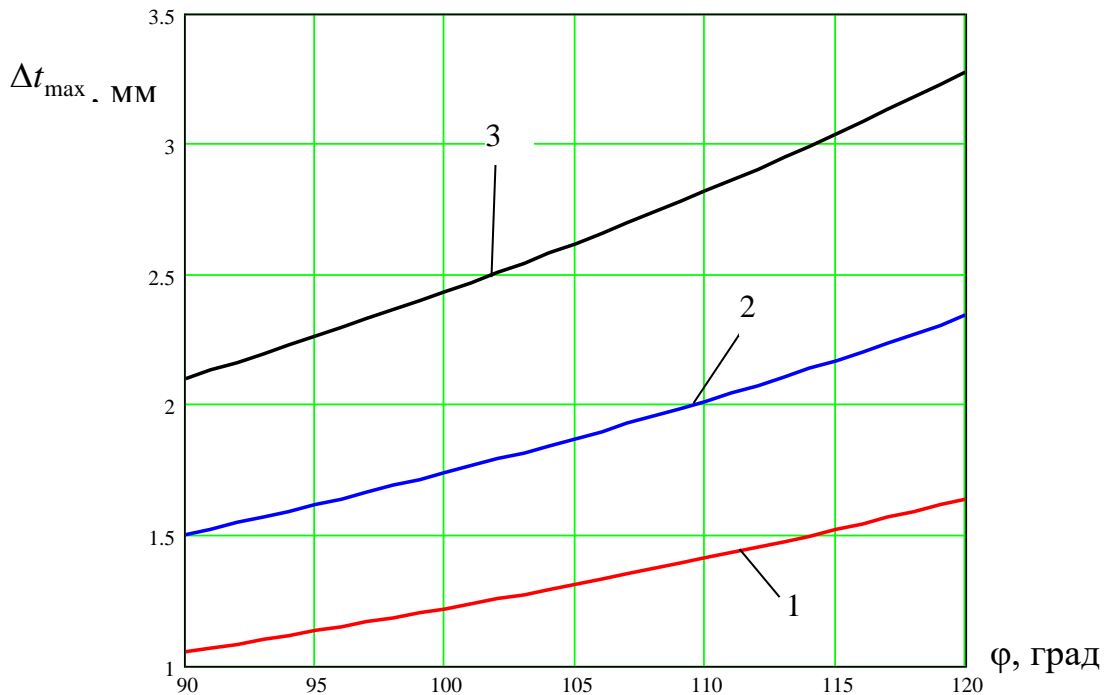


Рисунок 2.5 – Графіки залежності максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки від кута  $\varphi$  при вершині свердла:  $\alpha = 10$  град: 1 –  $D=7$  мм; 2 –  $D=10$  мм; 3 –  $D=14$  мм

Максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання прямопропорційно залежить від діаметра свердла, зокрема для кута  $\alpha = 10$  град при збільшенні діаметра свердла від 7 мм до 14 мм максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання зростає у 2 рази – від 1,64 мм до 3,28 мм. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 1 градуса до 20 градусів призводить до зростання  $\Delta t_{\max}$  від 0,2 мм до 2,7 мм. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\varphi$  при вершині свердла від 90 градусів до 120 градусів призводить до зростання  $\Delta t_{\max}$  від 1,05 мм до 1,64 мм. Із розглянутих параметрів найбільший вплив на зростання максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки має кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

Для знаходження різниці  $\Delta t$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки в процесі врізання свердла у заготовку підставляємо рівняння (2.8) та (2.10) у рівняння (2.11):

$$\Delta t = -l_1 \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right)} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right)} \right). \quad (2.18)$$

На основі рівняння (2.18) побудовано графіки залежності різниці  $\Delta t$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки від довжина  $l_1$  врізання конусної частини свердла у заготовку (рис. 2.6).

В процесі свердління отвору на кожній із ріжучих поверхонь свердла виникають радіальні сили різання  $P_{y1}$  та  $P_{y2}$ , відповідно на лівій і правій кромках свердла. На основі даних експериментальних досліджень величину цих сил різання визначають із емпіричних залежностей [11]:

$$P_{y1} = 10C_p t_1^x s^y V^n K; \quad (2.19)$$

$$P_{y2} = 10C_p t_2^x s^y V^n K. \quad (2.20)$$

де - коефіцієнт оброблюваності матеріалу заготовки;

$s$  - подача свердла, мм/об;

$V$  - швидкість різання, м/хв;

$C_p, K, x, y, n$  – коригувальний коефіцієнти та показники степені.

Величину різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору визначаємо за формулою:

$$\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}. \quad (2.21)$$

Підставляючи формули (2.19), (2.20) у формулу (2.21), одержуємо

$$\Delta P_y = 10C_p s^y V^n K (t_1^x - t_2^x). \quad (2.22)$$

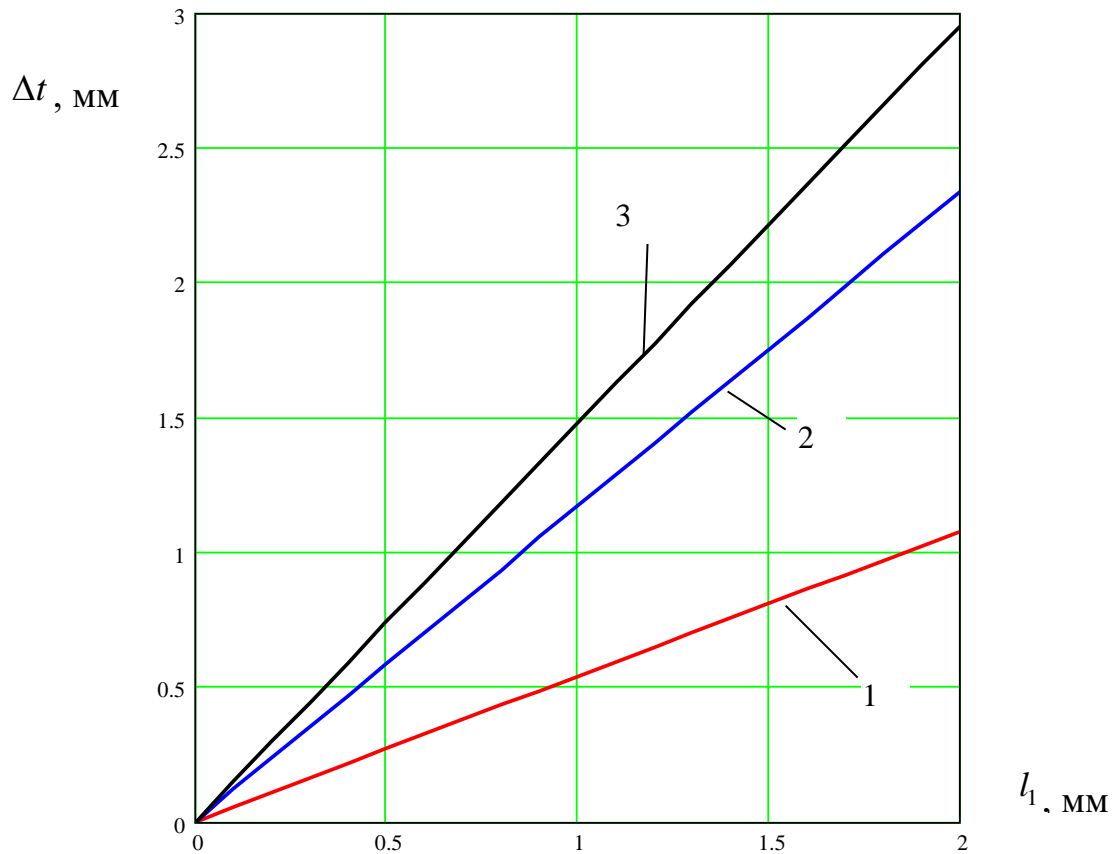


Рисунок 2.6 – Графіки залежності різниці  $\Delta t$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки від довжина  $l_1$  врізання конусної частини свердла у заготовку:  $\varphi=120$  град,  $D=10$  мм:  
 1 –  $\alpha=5$  град; 2 –  $\alpha=10$  град; 3 –  $\alpha=12$  град

Відповідно максимальну величину різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{y \max} = 10C_p s^y V^n K \left( \left( \frac{D}{2} \right)^x - \left( \frac{-D \left( \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) \right)}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi}{2} \right)} \right)^x \right). \quad (2.23)$$

На основі рівняння (2.23) побудовано графіки залежності максимальної різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки (рис. 2.7)



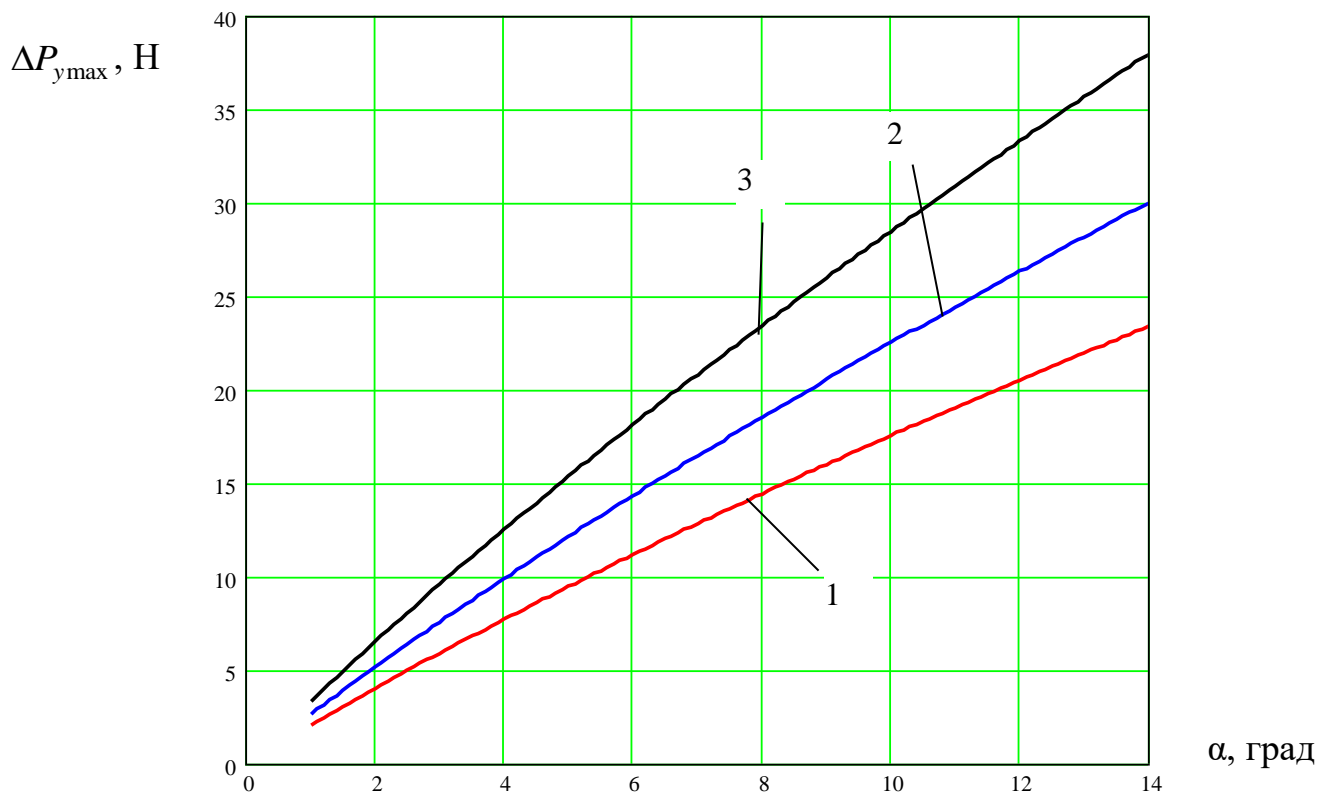


Рисунок 2.7 – Графіки залежності максимальної різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{max}}$  при свердлінні отвору від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки:  $\varphi = 120$  град: 1 –  $D=7$  мм; 2 –  $D=10$  мм; 3 –  $D=14$  мм

Із графіків на рис. 2.7 бачимо, що при збільшенні кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки та діаметра свердла  $D$  максимальна різниця протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{max}}$  при свердлінні отвору зростає. Зокрема для кута  $\alpha = 10$  град при збільшенні діаметра свердла від 7 мм до 14 мм максимальна різниця  $\Delta P_{y_{max}}$  між силами різання зростає в 1,62 рази – від 17,5 Н до 28,42 Н. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 1 градуса до 14 градусів призводить до зростання  $\Delta P_{y_{max}}$  від 2,03 Н до 23,35 Н.

Визначені максимальні різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{max}}$  при свердлінні отвору є достатніми для деформування свердла і мають вплив на точність оброблення отвору.

## 2.2. Результати експериментальних досліджень розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки

Для виконання поставлених завдань проведено експериментальні дослідження процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки. Зокрема встановлено вплив процесу свердління отворів на розбиття в результаті формування. Свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки проведено на вертикально-свердильному верстаті. Зміна кута нахилу поверхні заготовки виконувалась за допомогою закріплення і повертання заготовки у ділильній головці. Подача свердла до заготовки здійснювалась із застосування кондукторної втулки. Визначення величини розбиття отвору виконувалось вимірювання діаметра отвору у шести перерізах. Матеріал заготовки сталь 08 кп.

Перед початком експерименту відбувалось його планування відповідно до план-матриці повнофакторного експерименту із трьома незалежними змінними входними параметрами на трьох рівнях. Попередні дослідження дозволили встановити, що основними факторами, які впливають на величину розбиття отвору  $\Delta$  є: подача свердла  $s$ , діаметр свердла  $D$ , кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

Відповідно досліджуване розбиття отвору  $\Delta$  представлено у вигляді функції  $\Delta=f(s, D, \alpha)$ .

Визначено межі варіювання основних змінних факторів:

- подача свердла  $s = 0,08 - 0,16$  мм/об;
- діаметр свердла  $D = 8 - 12$  мм;
- кут нахилу поверхні заготовки  $\alpha = 2 - 8$  град.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для подачі свердла  $s$ :

$$X_{01} = \frac{0,08 + 0,16}{2} = 0,12 \text{ (мм/об);} \quad (2.24)$$

- для діаметра свердла  $D$ :

$$X_{02} = \frac{8+12}{2} = 10 \text{ (мм)}; \quad (2.25)$$

- для кута нахилу поверхні заготовки  $\alpha$ :

$$X_{03} = \frac{2+8}{2} = 5 \text{ (град)}. \quad (2.26)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{0,16 - 0,08}{2} = 0,04 \text{ (мм/об)}; \quad x_1 = \frac{s - 0,12}{0,04}; \quad (2.27)$$

$$\Delta X_2 = \frac{12 - 8}{2} = 2 \text{ (мм)}; \quad x_2 = \frac{D - 10}{2}; \quad (2.28)$$

$$\Delta X_3 = \frac{8 - 2}{2} = 3 \text{ (град)}; \quad x_3 = \frac{\alpha - 5}{3}. \quad (2.29)$$

Результати вибору основних факторів, що впливають на розбиття отвору  $\Delta$  та вибір рівнів їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Змінні фактори що впливають на розбиття отвору  $\Delta$  та вибір рівнів їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Подача свердла $s$	$s$ , мм/об	$x_1$	0,04	0,16 (+1)	0,12 (0)	0,08 (-1)
Діаметр свердла	$D$ , мм	$x_2$	2	12 (+1)	10 (0)	8 (-1)
Кут нахилу поверхні заготовки	$\alpha$ , град	$x_3$	3	8 (+1)	5 (0)	2 (-1)

Рівняння регресії, що визначають взаємозв'язок вхідних факторів та значення розбиття отвору  $\Delta$  представлено поліномом другої степені. Значення коефіцієнтів рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
Сталь 08кп	0,155	0,03	0,028	0,02	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$-1,25 \cdot 10^{-4}$	$-7,89 \cdot 10^{-4}$	$-7,89 \cdot 10^{-4}$	$-5,29 \cdot 10^{-4}$

Усі коефіцієнт рівняння регресії є значущими за критерієм Стюдента.

Загальний вигляд рівняння регресії розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні заготовки залежно від зміни: подачі свердла  $s$ , діаметра свердла  $D$ , кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки, тобто  $\Delta_{(x_1, x_2, x_3)} = f(s, D, \alpha)$  за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$\Delta_{(x_1, x_2, x_3)} = 0,155 + 0,03x_1 + 0,028x_2 + 0,02x_3 + 1,25 \cdot 10^{-4} x_1 x_2 + 1,25 \cdot 10^{-4} x_1 x_3 - (2.30) \\ - 1,25 \cdot 10^{-4} x_2 x_3 - 7,89 \cdot 10^{-4} x_1^2 - 7,89 \cdot 10^{-4} x_2^2 - 0,00529 x_3^2,$$

де  $x_1$  - кодоване значення подачі свердла  $s$ ;  $x_2$  - кодоване значення діаметра свердла  $D$ ;  $x_3$  - кодоване значення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

У натуральних величинах рівняння регресії розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні заготовки має вигляд:

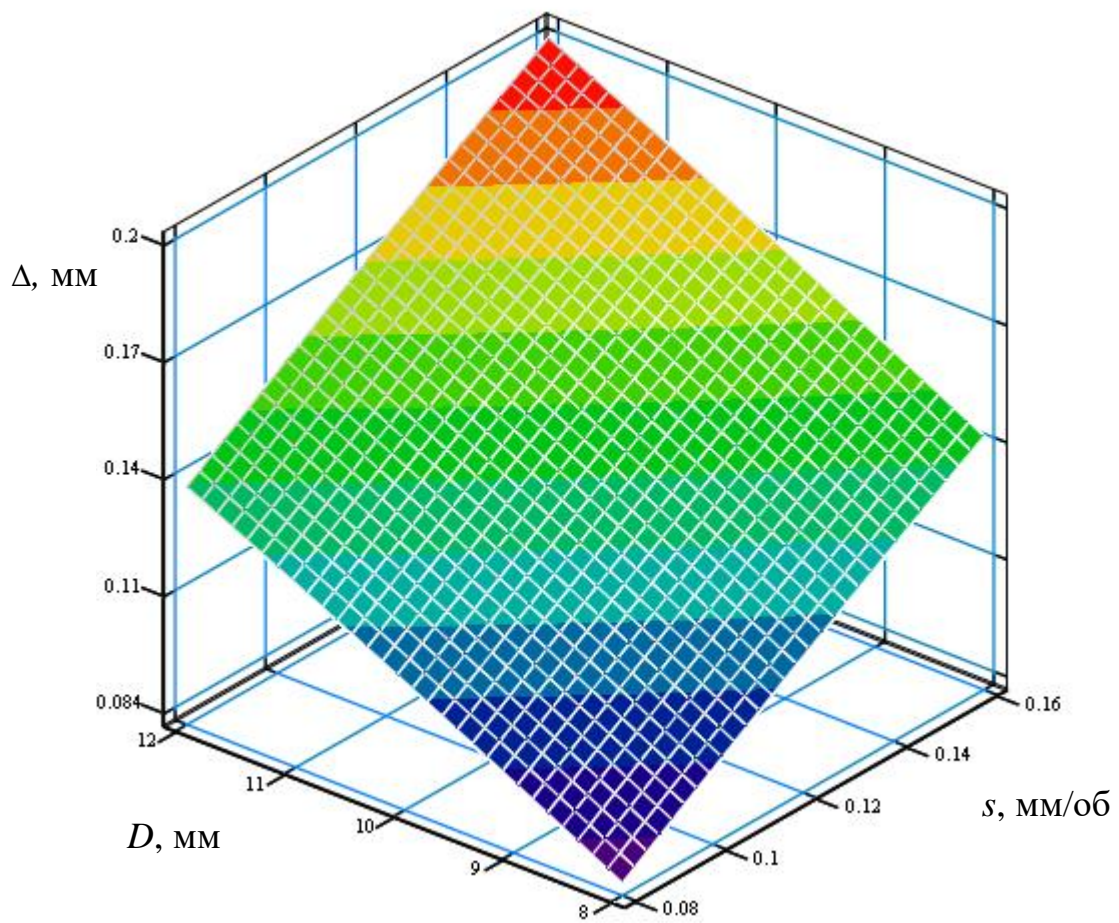
$$\Delta_{(s, D, \alpha)} = -0,208 + 0,843s + 0,0179D + 0,0259\alpha + 1,56 \cdot 10^{-3} sD + 1,56 \cdot 10^{-3} s\alpha - (2.31) \\ - 3,12 \cdot 10^{-5} D\alpha - 0,493s^2 - 1,97 \cdot 10^{-4} D^2 - 0,00132\alpha^2.$$

На основі даних експериментальних досліджень та рівняння регресії (2.31) за допомогою прикладного програмного забезпечення виконано креслення поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів, що можна використовувати для прогнозування величини розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні заготовки. Графіки зображено на рисунках 2.8 – 2.12.

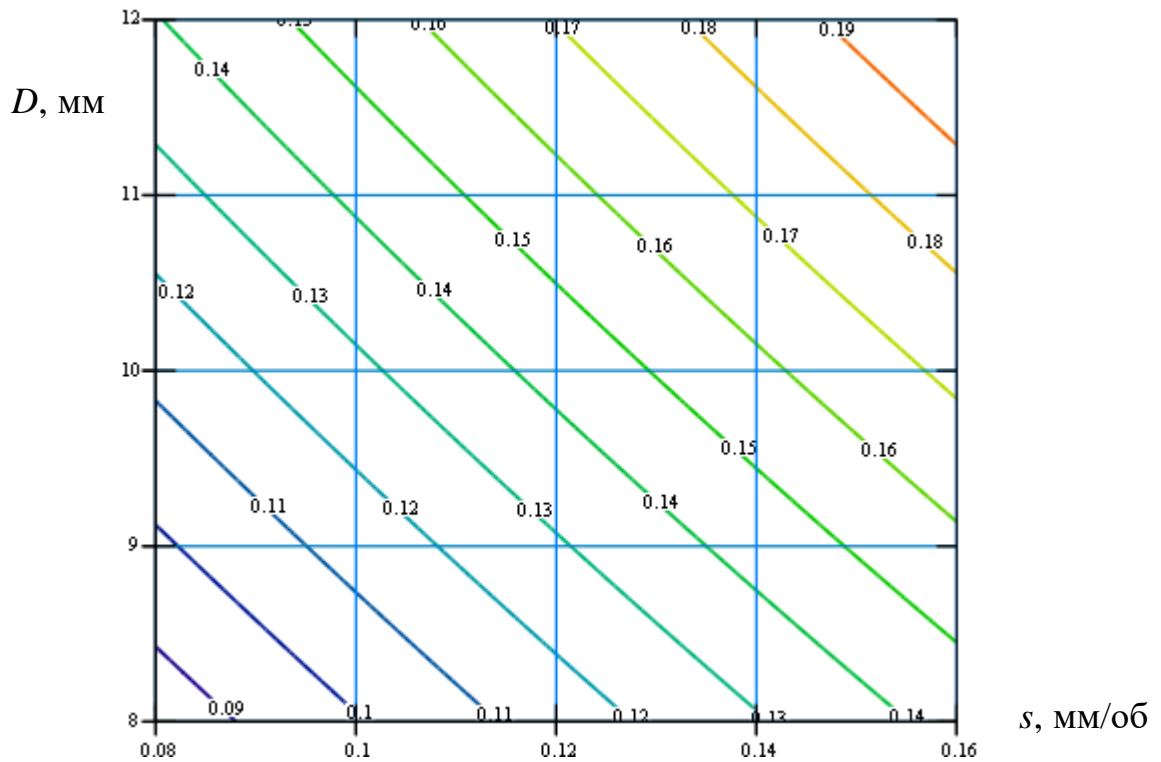
Рівняння регресії у кодованих (2.30) та натуральних (2.31) величинах адекватно відображають величину розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні заготовки із сталі 08кп при таких межах параметрів:

$$0,08 \leq s \leq 0,16 \text{ (мм/об)}; 8 \leq D \leq 12 \text{ (мм)}; 2 \leq \alpha \leq 8 \text{ (град)}.$$

В результаті аналізу представлених вище графіків встановлено, що найбільший вплив на величину розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні має подача свердла  $s$ . Менший вплив має діаметр свердла  $D$  і найменший – кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

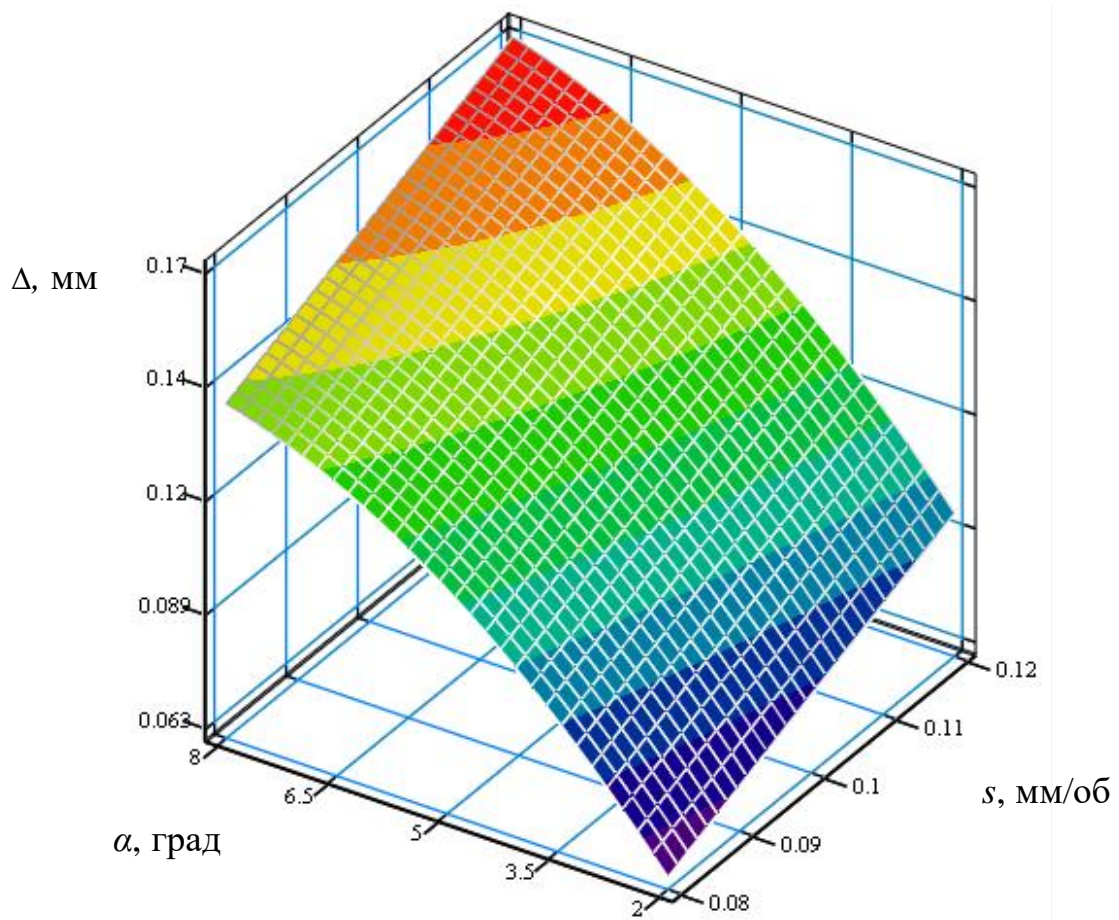


а)

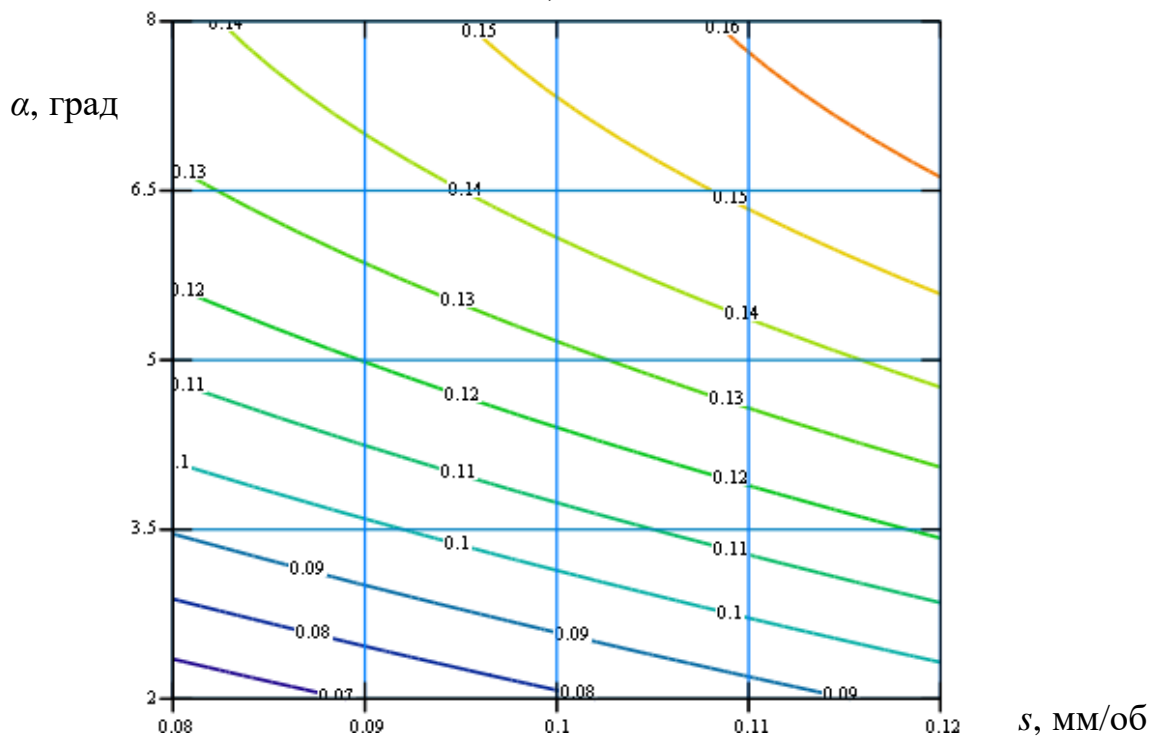


б)

Рисунок 2.8 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахилений поверхні заготовки від діаметра свердла  $D$  та подачі свердла  $s$  ( $\alpha = 5$  град)



а)



б)

Рисунок 2.9 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахилений поверхні заготовки від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки та подачі свердла  $s$  ( $D = 10$  мм)

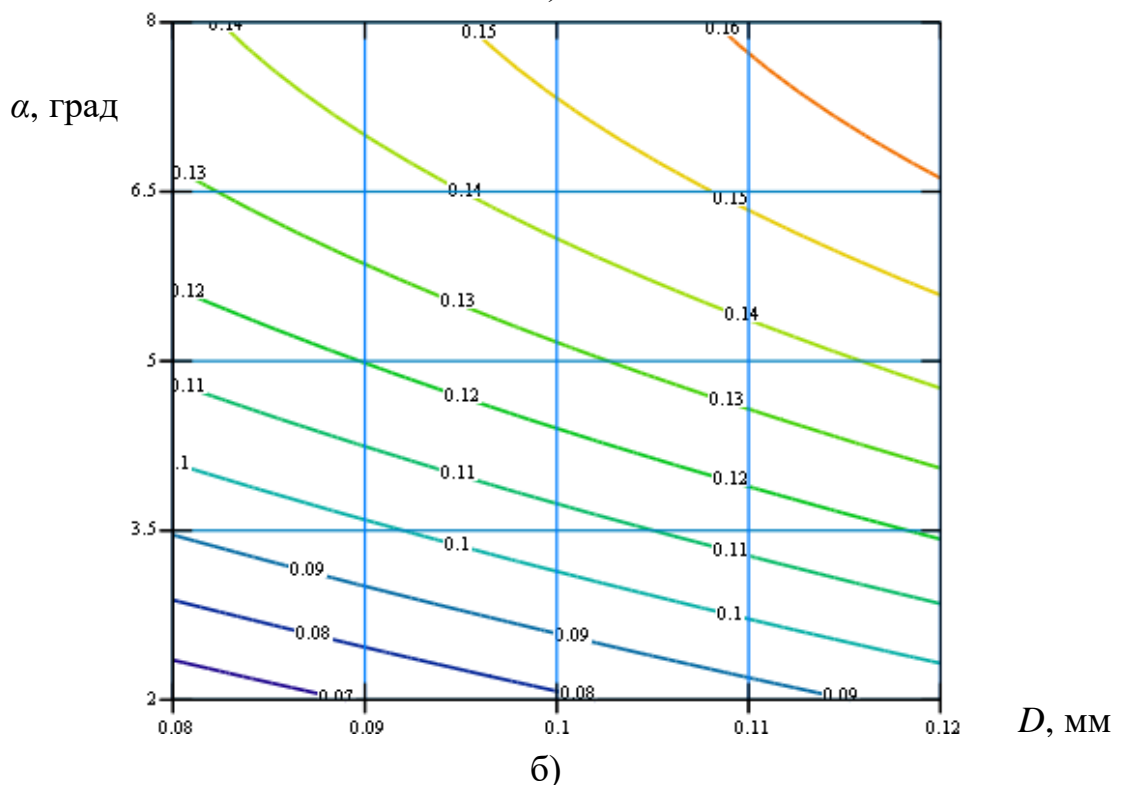
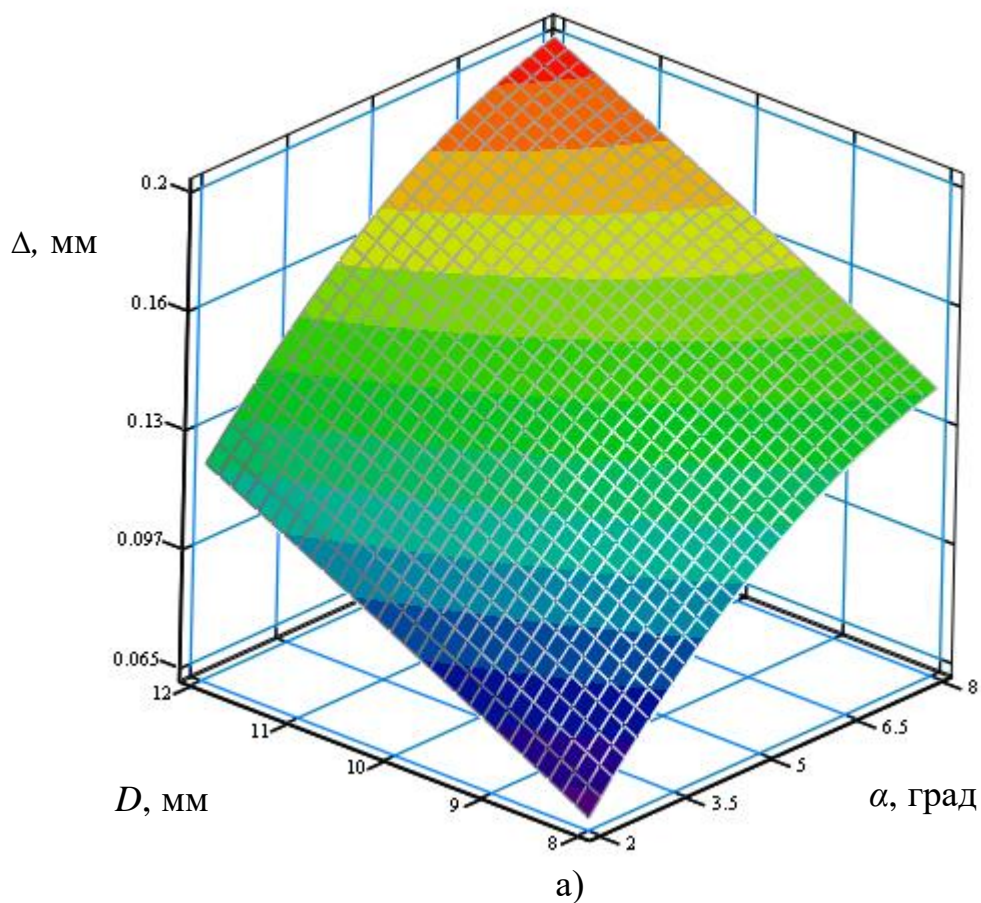


Рисунок 2.10 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахилений поверхні заготовки від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки та діаметра свердла  $D$  ( $s=0,12$  мм/об)

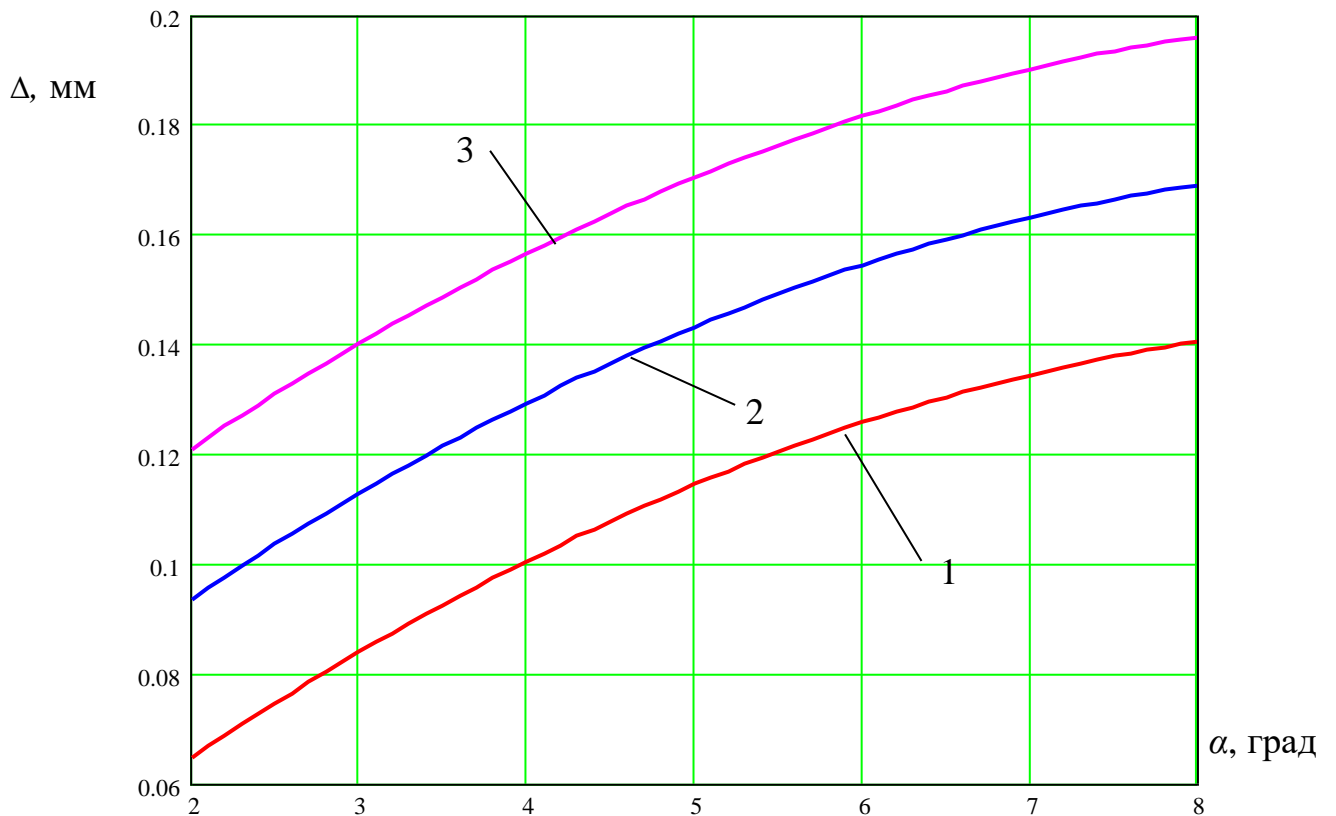


Рисунок 2.11 – Графіки залежності величини розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахилений поверхні заготовки від кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки:  $s=0,12$  мм/об: 1)  $D = 8$  мм; 2)  $D = 10$  мм; 3)  $D = 12$  мм

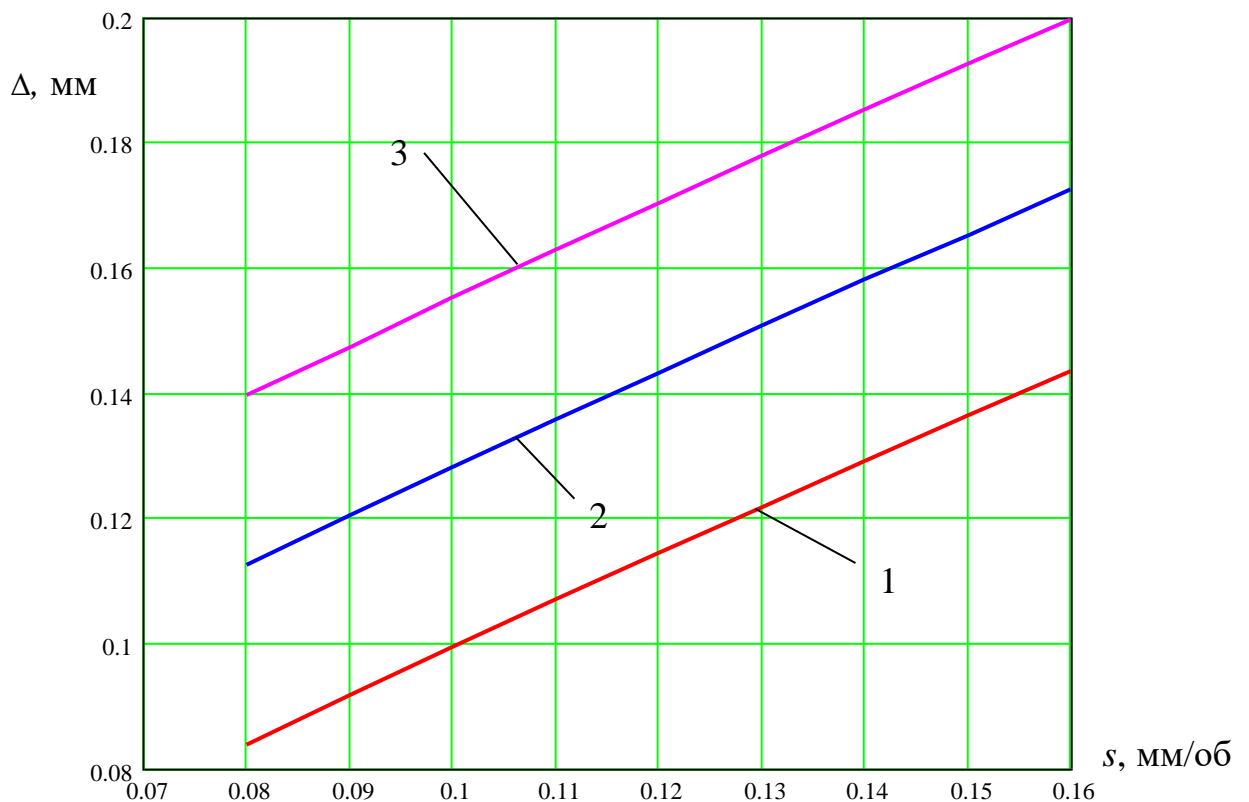


Рисунок 2.12 – Графіки залежності величини розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахилений поверхні заготовки від подачі свердла  $s$ :  $\alpha=5$  град: 1)  $D = 8$  мм; 2)  $D = 10$  мм; 3)  $D = 12$  мм



При збільшенні подачі свердла  $s$ , діаметра свердла  $D$  та кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки величина розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні зростає.

Максимальне значення розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні становить 0,23 мм, а мінімальне – 0,04 мм. Збільшення подачі свердла  $s$  від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,54 рази. Збільшення діаметра свердла  $D$  від 8 мм до 12 мм призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,49 рази, а збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 2 мм до 8 град призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,79 рази.

### 2.3. Висновки

Проведено дослідження параметрів процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки. Розроблено розрахункову схему для дослідження впливу геометричних параметрів заготовки на виникнення різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору. Одержали рівняння для знаходження глибини різання лівої та правої кромки свердла. Виведено залежності максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки а також максимальної різниці протилежно направлених радіальних сил різання  $\Delta P_{y_{\max}}$  при свердлінні отвору.

Встановлено, що при збільшенні кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки, кута  $\varphi$  при вершині свердла та діаметра свердла  $D$  максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки зростає.

Максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання прямопропорційно залежить від діаметра свердла, зокрема для кута  $\alpha = 10$  град при збільшенні діаметра свердла від 7 мм до 14 мм максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання зростає у 2 рази – від 1,64 мм до 3,28 мм. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм

збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 1 градуса до 20 градусів призводить до зростання  $\Delta t_{\max}$  від 0,2 мм до 2,7 мм. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\varphi$  при вершині свердла від 90 градусів до 120 градусів призводить до зростання  $\Delta t_{\max}$  від 1,05 мм до 1,64 мм. Із розглянутих параметрів найбільший вплив на зростання максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки має кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

При збільшенні кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки та діаметра свердла  $D$  максимальна різниця протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{\max}}$  при свердлінні отвору зростає. Зокрема для кута  $\alpha = 10$  град при збільшенні діаметра свердла від 7 мм до 14 мм максимальна різниця  $\Delta P_{y_{\max}}$  між силами різання зростає в 1,62 рази – від 17,5 Н до 28,42 Н. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 1 градуса до 14 градусів призводить до зростання  $\Delta P_{y_{\max}}$  від 2,03 Н до 23,35 Н.

Визначені максимальні різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{\max}}$  при свердлінні отвору є достатніми для деформування свердла і мають вплив на точність оброблення отвору.

Представлено результати експериментальних досліджень розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки. Визначено, що найбільший вплив на величину розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні має подача свердла  $s$ . Менший вплив має діаметр свердла  $D$  і найменший – кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

При збільшенні подачі свердла  $s$ , діаметра свердла  $D$  та кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки величина розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні зростає.

Максимальне значення розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні становить 0,23 мм, а мінімальне – 0,04 мм. Збільшення подачі свердла  $s$  від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в

1,54 рази. Збільшення діаметра свердла  $D$  від 8 мм до 12 мм призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,49 рази, а збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 2 мм до 8 град призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,79 рази.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 737186.012 входить до складу промислового світильника. Основне призначення деталі - взаємне розміщення і захист елементів світильника.

Деталь “Корпус” 737186.012 має форму цоколя із чотирма ребристими ніжками в основі яких знаходяться 4 різевих отвори М4-7Н, рівновіддалених на діаметр  $\varnothing 193 \pm 0,2$ . У центрі цокольної частини є отвір  $\varnothing 20H8$ ; Ra 2,5 та чотири отвори  $\varnothing 5H14$ ; Ra 12,8, два з яких з міжосьовою відстанню  $\varnothing 31 \pm 0,2$  під кутом  $37^\circ$ ; а два з відстанню  $34 \pm 0,2$  по вертикальній вісі. Крім цього, на приливі  $\varnothing 12$  паралельно до вісі на відстані  $22 \pm 0,2$  розташований різевий отвір М4-7Н і на боковому приливі до цоколя знаходяться два поперечних отвори  $\varnothing 3,8H14$  на відстані  $44,5 \pm 0,2$  від вісі симетрії.

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	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 120H14^{(+0,87)}$	14	Ra 12,8
2	Внутрішня торцева поверхня $4 \pm 0,1$	14	Ra 12,8
3	Зовнішня торцева поверхня $125h14_{(-1,0)}$	14	Ra 12,8
4	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 66H14^{(+0,74)}$	14	Ra 12,8
5	Внутрішня торцева поверхня $4 \pm 0,1$	14	Ra 12,8
6	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 20H8^{(+0,033)}$	8	Ra 2,5
7	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 72h14_{(-0,74)}$	14	Ra 12,8

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
8	Зовнішня торцева поверхня 4±0,1	14	Ra 12,8
9-12	Чотири зовнішні торцеві поверхні 125h14 <sub>(-1,0)</sub>	14	Ra 12,8
13-16	Чотири наскрізні отвори Ø3,3 <sup>+0,16</sup> ; l=9; Ø193±0,2 під різь М4-7Н	13	Ra 6,7
17-20	Чотири внутрішні фаски 1,0×45°	14	Ra 12,8
21	Наскрізний отвір Ø3,3 <sup>+0,16</sup> ; l=7; 22±0,2 під різь М4-7Н	13	Ra 6,7
22	Внутрішня фаска 1,0×45°	14	Ra 12,8
23	Різовий наскрізний отвір М4-7Н; l=7	(7)	Ra 6,7
24, 25	Два наскрізних отвори Ø5H14; 34±0,2	14	Ra 12,8
26, 27	Два наскрізних отвори Ø5H14; Ø31±0,2; 37°	14	Ra 12,8
28-31	Чотири наскрізних різевих отвори М4-7Н; l=9; Ø193±0,2	(7)	Ra 6,7
32, 33	Два наскрізних отвори Ø3,8H14 <sup>(+0,3)</sup> ; 44,5±0,2; l=4	14	Ra 12,8

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Деталь “Корпус” 737186.012 виготовляється із сплаву АК12, що має хороші ливарні властивості. Тому запропоновано такі способи одержання заготовки:

1) лиття в піщані форми із додатковим формуванням по металевих моделях;

2) лиття під тиском.

Для розрахунку маси заготовки використано формулу:

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

$q = 0,414$  кг – маса деталі;

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

Для розрахунку припусків заготовки використано узагальнені в результаті аналізу дані із таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Корпус” 737186.012

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) лиття в піщані форми із додатковим формуванням по металевих моделях				
Зовнішня торцева поверхня 125h14 <sub>(-1,0)</sub>	Ra12,8	3,2	4,2 × 2 = 8,4	133,4±1,6
Внутрішня циліндрична поверхня Ø120H14 <sup>(+0,87)</sup>	Ra12,8	3,2	4 × 2 = 8,0	Ø112±1,6
Внутрішня циліндрична поверхня Ø66H14 <sup>(+0,74)</sup>	Ra12,8	2,8	3,6 × 2 = 7,2	Ø58,8±1,4
Внутрішня торцева поверхня 4±0,1	Ra12,8	1,4	2,4	1,6±0,7 (5,8±0,7 на кресленні)
Зовнішня торцева поверхня 4±0,1	Ra12,8	1,4	2,4	1,6±0,7 (8,2±0,7 на кресленні)
Зовнішня циліндрична поверхня Ø72h14 <sub>(-0,74)</sub>	Ra12,8	2,8	4,0 × 2 = 8,0	Ø80±1,4
Внутрішня циліндрична поверхня Ø20H8	Ra2,5	2,0	3,6 × 2 = 7,2	Ø12,8±1,0
2) лиття під тиском				
Зовнішня торцева поверхня 125h14 <sub>(-1,0)</sub>	Ra12,8	1,2	1,2 × 2 = 2,4	127,4±0,6
Внутрішня циліндрична поверхня Ø120H14 <sup>(+0,87)</sup>	Ra12,8	1,2	1,2 × 2 = 2,4	Ø117,6±0,6
Внутрішня циліндрична поверхня Ø66H14 <sup>(+0,74)</sup>	Ra12,8	1,1	1,2 × 2 = 2,4	Ø63,6±0,55
Внутрішня торцева поверхня 4±0,1	Ra12,8	0,56	0,9	3,1±0,28 (4,3±0,28 на кресленні)
Внутрішня торцева поверхня 4±0,1	Ra12,8	0,56	0,9	3,1±0,28

### Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Зовнішня торцева поверхня $4\pm 0,1$	Ra12,8	0,56	0,9	$3,1\pm 0,28$ ( $4,3\pm 0,28$ на кресленні)
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 72h14_{(-0,74)}$	Ra12,8	1,1	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 74,4\pm 0,55$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 20H8$	Ra2,5	0,8	$1,4 \times 2 = 2,8$	$\varnothing 17,2\pm 0,4$

Ескізи запропонованих варіантів литих заготовок представлено на рис. 3.1, 3.2.

Визначаємо об'єми припусків запропонованих варіантів литих заготовок:

- лиття в піщані форми із додатковим формуванням по металевих моделях:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (80^2 - 72^2) \cdot 8}{4} = 7636 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = 12,5 \cdot 12 \cdot 4,2 \cdot 4 = 2520 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (66^2 - 58,8^2) \cdot 8}{4} = 5643 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (72^2 - 66^2) \cdot 4,2}{4} = 2730 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (58,8^2 - 12,8^2) \cdot 2,4}{4} = 6205 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{\pi \cdot (20^2 - 12,8^2) \cdot 2,5}{4} = 590 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot (120^2 - 112^2) \cdot 4}{4} = 5828 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2,5}{4} \cdot 4 = 196 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 9}{4} \cdot 4 = 452 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 6,5}{4} = 81 \text{ мм}^3;$$

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

$$V_{\text{пр}} = 31881 \text{ мм}^3 = 31,88 \text{ см}^3.$$

- ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (74,4^2 - 72^2) \cdot 5,2}{4} = 1434 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = 12,5 \cdot 12 \cdot 1,2 \cdot 4 = 720 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (66^2 - 63,6^2) \cdot 5,2}{4} = 1270 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (72^2 - 66^2) \cdot 1,2}{4} = 780 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (63,6^2 - 17,2^2) \cdot 0,9}{4} = 2649 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{\pi \cdot (20^2 - 17,2^2) \cdot 2,5}{4} = 204 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot (120^2 - 117,6^2) \cdot 3,1}{4} = 1387 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot (117,6^2 - 112^2) \cdot 0,9}{4} = 908 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2,5}{4} \cdot 4 = 196 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 9}{4} \cdot 4 = 452 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр11}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 6,5}{4} = 81 \text{ мм}^3;$$

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

$$V_{\text{пр}} = 10081 \text{ мм}^3 = 10,08 \text{ см}^3.$$



Загальні маси припусків:

– лиття в піщані форми із додатковим формуванням по металевих моделях:

$$m_{\text{пр1}} = 31,88 \cdot 2,6 = 82,89 \text{ г} = 0,083 \text{ кг.}$$

– лиття під тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 10,08 \cdot 2,6 = 26,21 \text{ г} \approx 0,026 \text{ кг.}$$

Визначаємо маси заготовок:

– лиття в піщані форми із додатковим формуванням по металевих моделях:

$$Q_1 = 0,414 + 0,083 = 0,497 \text{ кг.}$$

– лиття під тиском:

$$Q_2 = 0,414 + 0,026 = 0,44 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

– лиття в піщані форми із додатковим формуванням по металевих моделях:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,414}{0,497} = 0,83.$$

– лиття під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,414}{0,44} = 0,94.$$

В результаті аналізу в умовах крупносерійного типу виробництва деталі “Корпус” 737186.012 вибрано литво під тиском.

### **3.3. Формування технологічного процесу**

Здійснено проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 737186.012.

005 Токарно-револьверна операція

Перехід 2. Розточити остаточно отвір 1 з остаточною підрізання внутрішнього торця 2 з револьверної головки, витримуючи розміри  $\varnothing 120^{+0,87}$ ;  $4 \pm 0,1$ .

Перевірити розміри:  $\varnothing 120^{+0,87}$ ;  $4 \pm 0,1$ . Контроль 30%.

010 Токарно-револьверна операція

Перехід 2. Підрізати остаточно торець 3 з переднього поперечного супорта, витримуючи розмір  $126,2_{-1,0}$ .

Перехід 3. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 7 з остаточною підрізання торця 8 з заднього поперечного супорта, витримуючи розміри  $\varnothing 72_{-0,74}$ ;  $4 \pm 0,1$ .

Перехід 4. Розточити остаточно отвір 4 з остаточною підрізання внутрішнього торця 5 з револьверної головки, витримуючи розміри  $\varnothing 66^{+0,74}$ ;  $4 \pm 0,1$ .

Перехід 5. Зенкерувати центральний отвір 6 з револьверної головки, витримуючи розміри  $\varnothing 19,6^{+0,21}$ ;  $l=2,5$ .

Перехід 6. Розвернути попередньо центральний отвір 6 з револьверної головки, витримуючи розмір  $\varnothing 19,921^{+0,052}$ .

Перехід 7. Розвернути остаточно центральний отвір 6 з револьверної головки, витримуючи розмір  $\varnothing 20^{+0,033}$ .

Перевірити розміри:  $126,2_{-1,0}$ ;  $\varnothing 72_{-0,74}$ ;  $4 \pm 0,1$ ;  $\varnothing 66^{+0,74}$ ;  $4 \pm 0,1$ ;  $\varnothing 20^{+0,033}$ . Контроль 30%.

015 Вертикально-фрезерна операція

Перехід 2. Фрезерувати остаточно чотири торці 9-12 одночасно, витримуючи розмір  $125_{-1,0}$ .

Перевірити розмір:  $125_{-1,0}$ . Контроль 30%.

020 Агрегатна операція

Позиція II. Свердлити чотири отвори 13-16 під різь М4-7Н з одночасним формуванням чотирьох фасок 17-20, свердлити два отвори 24, 25 з вертикальної шестишпindelної силової головки Па одночасно, витримуючи розміри  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=9$ ;  $\varnothing 193 \pm 0,2$ ;  $1,0 \times 45^\circ$ ;  $\varnothing 5Н14$ ;  $34 \pm 0,2$ .

Позиція III. Свердлити отвір 21 під різь М4-7Н з одночасним формуванням фаски 22, свердлити два отвори 26, 27 з вертикальної трьохшпindelної

силової головки IIIa одночасно, витримуючи розміри  $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ;  $l=7$ ;  $22\pm 0,2$ ;  $1,0\times 45^\circ$ ;  $\varnothing 5H14$ ;  $\varnothing 31\pm 0,2$ ;  $37^\circ$ .

Позиція IV. Нарізати різь 28-31, 23 в п'яти отворах з вертикальної п'ятишпindelної силової головки IVa, витримуючи розміри  $M4-7H$ ;  $l=9$ ;  $\varnothing 193\pm 0,2$ ;  $M4-7H$ ;  $l=7$ .

Перевірити розміри:  $\varnothing 5H14$ ;  $\varnothing 193\pm 0,2$ ;  $34\pm 0,2$ ;  $M4-7H$ ;  $l=9$ ;  $\varnothing 193\pm 0,2$ ;  $M4-7H$ . Контроль 30%.

025 Вертикально-свердлильна операція

Перехід 2. Свердлити два отвори 32, 33 одночасно, витримуючи розміри  $\varnothing 3,8H14^{(+0,3)}$ ;  $44,5\pm 0,2$ .

Перевірити розмір:  $\varnothing 3,8^{+0,3}$ . Контроль 30%.

025 Контроль. 100%

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

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.4.

Габаритні розміри заготовки:  $127,4\pm 0,6\times \varnothing 205\pm 0,6$ .

Схема розташування припусків та допусків для поверхні  $\varnothing 20H8$  представлена на рис. 3.3.

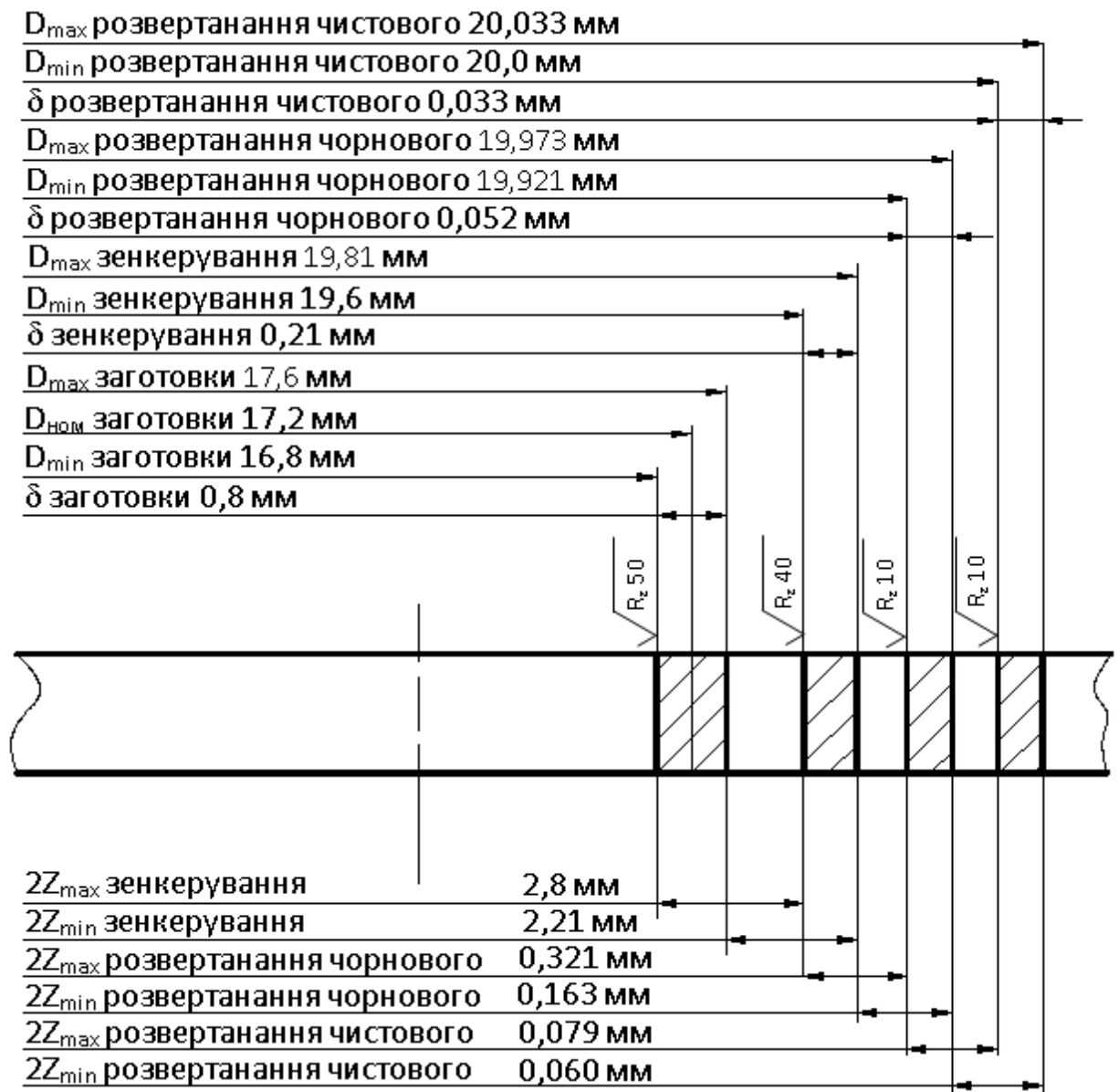


Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків та допусків для поверхні  $\varnothing 20H8$

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 737186.012

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
Зовнішня торцева поверхня 125h14 <sub>(-1,0)</sub>					
Фрезерування торцевою фрезою	14	Ra12,8	1,0	1,2	125 <sub>-1,0</sub>
Напівчистове підрізання	14	Ra12,8	1,0	1,2	126,2 <sub>-1,0</sub>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 50	1,2	1,2 × 2 = 2,4	127,4±0,6
Внутрішня циліндрична поверхня Ø120H14 <sup>(+0,87)</sup>					
Розточування напівчистове	14	Ra12,8	0,87	1,2 × 2 = 2,4	Ø120 <sup>+0,87</sup>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 50	1,2	–	Ø117,6±0,6
Два наскрізних отвори Ø3,8H14 <sup>(+0,3)</sup>					
Свердління	14	Ra12,8	0,3	1,9 × 2 = 3,8	Ø3,8 <sup>+0,3</sup>
Заготовка	7-мий кл.	R <sub>z</sub> 50	–	–	Суцільний матеріал
Внутрішня циліндрична поверхня Ø66H14 <sup>(+0,74)</sup>					
Розточування напівчистове	14	Ra12,8	0,74	1,2 × 2 = 2,4	Ø66 <sup>+0,74</sup>
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	1,1	–	Ø63,6±0,55
Внутрішня торцева поверхня 4±0,1					
Підрізання напівчистове	14	Ra12,8	0,2	0,9	4±0,1
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	0,56	–	3,1±0,28
Зовнішня торцева поверхня 4±0,1					
Підрізання напівчистове при поперечній подачі	14	Ra12,8	0,2	0,9	4±0,1
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	0,56	–	3,1±0,28
Зовнішня циліндрична поверхня Ø72h14 <sub>(-0,74)</sub>					
Точіння напівчистове	14	Ra12,8	0,74	1,2 × 2 = 2,4	Ø72 <sub>-0,74</sub>
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	1,1	–	Ø74,4±0,55

### 3.5. Визначення режимів різання

Результати розрахунку режимів різання деталі “Корпус” 737186.012 подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737186.012

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T <sub>м</sub> , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S <sub>м</sub> , мм/хв	T <sub>о</sub> , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарно-револьверна										
Перехід 2 Розточити остаточно отвір 1 з остаточною підрізання внутрішнього торця 2 з револьверної головки, витримуючи розміри $\varnothing 120^{+0,87}$ ; $4 \pm 0,1$	1,2	9	1	64	0,3	456	172	136,6	0,07	1,4
010 Токарно-револьверна										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 3 з переднього поперечного супорта, витримуючи розмір $126,2_{-1,0}$	1,2	10	1	64	0,3	566	144	169,7	0,06	1,7
Перехід 3 Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 7 з остаточною підрізання торця 8 з заднього поперечного супорта, витримуючи розміри $\varnothing 72_{-0,74}$ ; $4 \pm 0,1$	4	19	1	64	0,2	566	127,8	114	0,16	2,1
Перехід 4 Розточити остаточно отвір 4 з остаточною підрізання внутрішнього торця 5 з револьверної головки, витримуючи розміри $\varnothing 66^{+0,74}$ ; $4 \pm 0,1$	1,2	30	1	64	0,08	1004	208	81	0,38	1,1

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 5 Зенкерувати центральний отвір 6 з револьверної головки, в розмірі $\varnothing 19,6^{+0,21}$ ; $l=2,5$	1,2	9,5	1	34	0,35	334	20,6	117,45	0,082	0,1
Перехід 6 Розвернути попередньо центральний отвір 6 з револьверної головки, витримуючи розмір $\varnothing 19,921^{+0,052}$	0,1605	22,5	1	34	0,9	204	12,7	182	0,125	0,04
Перехід 7 Розвернути остаточно центральний отвір 6 з револьверної головки, витримуючи розмір $\varnothing 20^{+0,033}$	0,0395	22,5	1	34	0,6	259	16,4	154,9	0,145	0,01
015 Вертикально-фрезерна										
Перехід 2 Фрезерувати остаточно чотири торці 9-12 одночасно, витримуючи розмір $125_{-1,0}$	1,2	200	1	104	0,5	752	590	376	0,53	0,91
020 Агрегатна										
Позиція II Свердлити чотири отвори 13-16 під різь М4-7Н з одночасним формуванням чотирьох фасок 17-20, свердлити два отвори 24, 25 з вертикальної шестишпindelної силової головки Па одночасно, в розмірі $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ; $l=9$ ; $\varnothing 193 \pm 0,2$ ; $1,0 \times 45^\circ$ ; $\varnothing 5H14$ ; $34 \pm 0,2$	1,65				0,107	2057	21,31			
		12	1	204				221	0,05	1,14
	2,5				0,1	2204	34,52			

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція III Свердли́ти отвір 21 під різь М4-7Н з одночасним формуванням фаски 22, свердли́ти два отвори 26, 27 з вертикальної трьохшпindelної силової головки IIIa одночасно, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,16}$ ; $l=7$ ; $22\pm 0,2$ ; $1,0\times 45^\circ$ ; $\varnothing 5H14$ ; $\varnothing 31\pm 0,2$ ; $37^\circ$	1,65	12	1	204	0,107	2057	21,31	221	0,05	0,64
	2,5				0,1	2204	34,52			
Позиція IV Наріза́ти різь 28-31, 23 в п'яти отворах з вертикальної п'ятишпindelної силової головки IVa, витримуючи розміри М4-7Н; $l=9$ ; $\varnothing 193\pm 0,2$ ; М4-7Н; $l=7$	0,606	24,2	1	24	0,7	407	5,14	283,8	0,09	0,58
025 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердли́ти два отвори 32, 33 одночасно, витримуючи розміри $\varnothing 3,8H14^{(+0,3)}$ ; $44,5\pm 0,2$ ; $l=7$	1,9	11	1	18	0,14	1404	16,74	198	0,06	0,04

Результати розрахунку технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737186.012 подано у таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).



Таблиця 3.6 – Норми часу на механічну обробку деталі “Корпус”

737186.012

Номер та назва операції	T <sub>о</sub> , хв	Допоміжний час, T <sub>д</sub> хв			Час швидких переміщень, хв	Час циклу верстата, T <sub>ц</sub> , хв	Час обслуговування, T <sub>об</sub> , хв			T <sub>шт.</sub> , хв.	T <sub>п.з.</sub> , хв.	n, шт	T <sub>шт.к.</sub> , хв
		T <sub>у</sub>	T <sub>пер.</sub>	T <sub>вим.</sub>			T <sub>тех.об.</sub>	T <sub>орг.об.</sub>	T <sub>відп.</sub>				
005 Токарно-револьверна	0,07	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2140	0,203
010 Токарно-револьверна	0,952	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1,4
015 Вертикально-фрезерна	0,53	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–		0,92
020 Агрегатна	0,16	0,08	0,01	0,83	0,12	0,21	0,002	0,005	0,013	0,931	54,5		0,96
025 Вертикально-свердлильна	0,06	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–		0,182

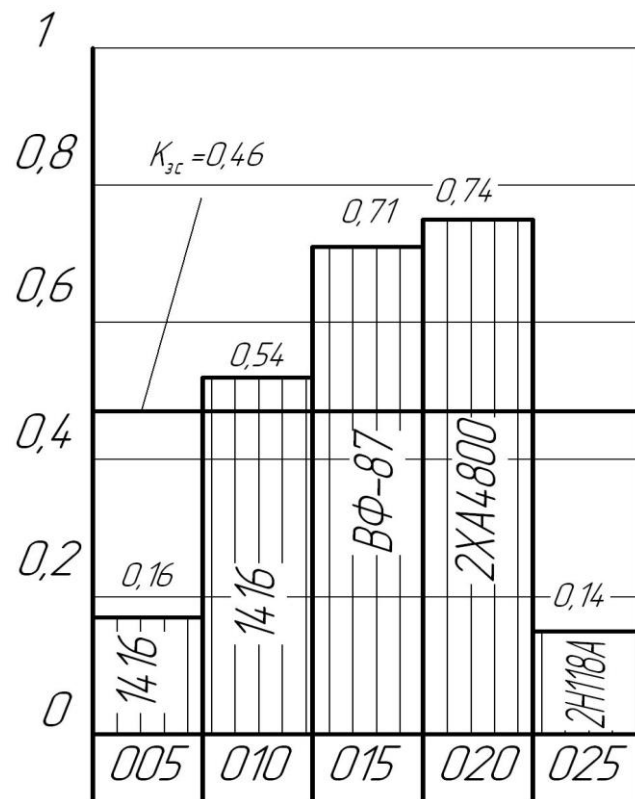


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

### 3.6. Розрахунок пристосування

Для обробки деталі “Корпус” 737186.012 на 020 агрегатної операції розроблено спеціальний пристрій. Базування заготовки здійснюється на палець 8 по центральному отвору  $\varnothing 20H8$  з упором в торці ніжок на базі 10 з орієнтацією по пазу на палець 7 з пневмозатиском двома прихватами 24. Креслення пристрою представлено у графічній частині роботи.

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

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

На операції 020 агрегатній проводиться обробка різевих отворів. Точність розміщення отворів визначається допуском до 0,4мм.

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\Delta \varepsilon_{\text{б.}} = S_{\text{max}}, \quad (3.5)$$

Базуючий отвір деталі  $\varnothing 20H8^{(+0,033)}$ .

Базуючий розмір бази –  $\varnothing 20f6^{(-0,020 / -0,033)}$ .

Визначаємо максимальний зазор.

$$D_{\text{max}} = 20 + 0,033 = 20,033 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{min}} = 20 + (-0,033) = 19,967 \text{ мм.}$$

$$S_{\text{max}} = 20,033 - 19,967 = 0,066 \text{ мм.}$$

Тоді, похибка базування буде складати:

$$\Delta \varepsilon_{\text{бр.}} = 0,066 \text{ мм.}$$

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:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0,066^2 + 0,08^2 + 0,04^2} = 0,111 \text{ мм.}$$

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

Розрахункова схема спеціального пристрою для базування та закріплення заготовки подана на рисунку 3.6.

Відповідно до розрахункової схеми рис. 3.6 записуємо рівняння рівноваги силових факторів:

$$P_{\text{зат}1} \cdot f_1 \cdot R + P_{\text{зат}2} \cdot f_1 \cdot R = K \cdot M_{\text{різ}}, \quad (3.6)$$

де  $R = \frac{L}{2} = \frac{124}{2} = 62 \text{ мм} = 0,062 \text{ м.}$  - радіус затиску заготовки.

Момент різання при нарізанні різьби одночасно в 5-ти отворах [16]:

$$M_{\text{різ}} = 5M_{\text{кр.табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3.7)$$

де  $M_{\text{кр.табл.}} = 3,92 \text{ Н} \cdot \text{м};$

$K_1 = 0,4; K_2 = 0,4.$

$$M_{\text{різ}} = 5 \cdot 3,92 \cdot 0,4 \cdot 0,4 = 3,14 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$K = 3,24.$

Оскільки сили затиску на двох прихватах є однаковими, тоді їх формули (3.6) маємо:

$$2P_{\text{зат}} \cdot f_1 \cdot R = M_{\text{різ}}. \quad (3.8)$$

$$P_{\text{зат}} = \frac{K \cdot M_{\text{різ}}}{2 \cdot f_1 \cdot R}; \quad (3.9)$$

$$P_{\text{зат}} = \frac{3,24 \cdot 3,14}{2 \cdot 0,2 \cdot 0,062} = 410 \text{ Н.}$$

Сила затиску на одному прихваті:

$$P_{\text{зат}1} = P_{\text{зат}2} = \frac{P_{\text{зат}}}{2} = \frac{410}{2} = 205 \text{Н.}$$

Сила штовхання на штоці пневмоциліндра [11]:

$$F = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.10)$$

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

Сила затиску заготовки від пневмоциліндра через передавально-підсилюючі клиновий та важільний механізми [11]:

$$W = \frac{F}{2 \operatorname{tg}(\beta + \varphi)} \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.11)$$

де  $\beta = 10^\circ$ ;  $\varphi = 11^\circ$ ;  $l_1 = 84$  мм;  $l_2 = 62$  мм;  $\eta = 0,9$ .

$$\text{Тоді } W = \frac{2689,2}{2 \operatorname{tg}(10 + 11)} \frac{84}{62} \cdot 0,9 = 4058 \text{Н.}$$

Оскільки  $W = 4058 \text{ Н} > P_{\text{зат}} = 410 \text{ Н}$ , то вимога надійного закріплення заготовки забезпечується.

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

### **4.1. Вентиляція виробничих приміщень. Основні вимоги до неї**

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

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

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

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

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

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

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

Матеріали, з яких виготовляються повітроводи, мають відповідати вимогам будівельних норм. Виготовлення повітроводів із азбестоцементних матеріалів забороняється.

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

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

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

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

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

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

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

Не дозволяється: розміщення холодильних установок систем кондиціонування повітря в житлових будинках, будинках лікувально-профілактичних закладів, інтернатах для людей похилого віку та інвалідів, дитячих закладах і готелях; розміщення холодильних установок компресійного типу з місткістю масла у будь-якій з холодильних машин 250 кг і більше над або під приміщеннями з масовим постійним або тимчасовим перебуванням людей.

Застосування аміачних холодильних установок дозволяється тільки для холодопостачання систем кондиціонування повітря виробничих приміщень; у такому разі установки потрібно розміщувати в окремих будівлях, прибудовах або в окремих приміщеннях одноповерхових виробничих будівель.

Під час експлуатації калориферів необхідно дотримуватися таких вимог: відстань між калориферами і конструкціями з горючих та важкогорючих матеріалів має бути не менше 1,5 м за наявності вогневого або електричного підігріву і не менше 0,1 м, коли теплоносієм є вода або пара; тримати постійно справними контрольно-вимірвальні прилади; не допускати виникнення зазорів між калориферами, а також між калориферними і будівельними конструкціями камер, а виявлені зазори зашпаровувати негорючими матеріалами; систематично проводити пневматичним або гідравлічним способом очищення калориферів від забруднень; стежити за тим, щоб транзитні

канали, якими подається нагріте в калорифері повітря, не мали отворів, крім каналів, призначених для подавання повітря у приміщення.

## **4.2. Класифікація надзвичайних ситуацій**

Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 «Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій» затверджено «Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій». Згідно з цим положенням, за характером походження подій, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють 4 класи надзвичайних ситуацій: техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічних аварій на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації ґрунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру – це ситуації, пов'язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікації, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях,



викрадення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації військового характеру – це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Залежно від територіального поширення, обсягів, заподіяних або очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють 4 рівні надзвичайних ситуацій – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об'єктовий.

Надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремої області, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), або загрожує перенесенням на територію суміжної області, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайні ситуації місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно-небезпечного об'єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об'єкта. До місцевого рівня також належать всі НС, які виникають на об'єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків

потенційно-небезпечних об'єктів.

Надзвичайна ситуація об'єктового рівня – це надзвичайна ситуація, яка не підпадає під зазначені вище визначення, тобто така, що розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті, її наслідки не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено дослідження параметрів процесу свердління отворів на нахиленій поверхні заготовки. Розроблено розрахункову схему для дослідження впливу геометричних параметрів заготовки на виникнення різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_y$  при свердлінні отвору. Одержано рівняння для знаходження глибини різання лівої та правої кромки свердла. Виведено залежності максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки а також максимальної різниці протилежно направлених радіальних сил різання  $\Delta P_{y_{\max}}$  при свердлінні отвору.

Встановлено, що при збільшенні кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки, кута  $\varphi$  при вершині свердла та діаметра свердла  $D$  максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки зростає.

Максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання прямопропорційно залежить від діаметра свердла, зокрема для кута  $\alpha = 10$  град при збільшенні діаметра свердла від 7 мм до 14 мм максимальна різниця  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання зростає у 2 рази – від 1,64 мм до 3,28 мм. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 1 градуса до 20 градусів призводить до зростання  $\Delta t_{\max}$  від 0,2 мм до 2,7 мм. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\varphi$  при вершині свердла від 90 градусів до 120 градусів призводить до зростання  $\Delta t_{\max}$  від 1,05 мм до 1,64 мм. Із розглянутих параметрів найбільший вплив на зростання максимальної різниці  $\Delta t_{\max}$  між глибиною різання  $t_1$  правої кромки та глибиною різання  $t_2$  лівої кромки має кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

При збільшенні кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки та діаметра свердла  $D$  максимальна різниця протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{\max}}$  при свердлінні отвору зростає. Зокрема для кута  $\alpha = 10$  град при збільшенні

діаметра свердла від 7 мм до 14 мм максимальна різниця  $\Delta P_{y_{max}}$  між силами різання зростає в 1,62 рази – від 17,5 Н до 28,42 Н. Для діаметра свердла  $D = 7$  мм збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 1 градуса до 14 градусів призводить до зростання  $\Delta P_{y_{max}}$  від 2,03 Н до 23,35 Н.

Визначені максимальні різниці протилежно направлених сил різання  $\Delta P_{y_{max}}$  при свердлінні отвору є достатніми для деформування свердла і мають вплив на точність оброблення отвору.

Представлено результати експериментальних досліджень розбиття отворів в процесі свердління на нахиленій поверхні заготовки. Визначено, що найбільший вплив на величину розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні має подача свердла  $s$ . Менший вплив має діаметр свердла  $D$  і найменший – кут  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки.

При збільшенні подачі свердла  $s$ , діаметра свердла  $D$  та кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки величина розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні зростає.

Максимальне значення розбиття отвору  $\Delta$  після свердління на нахиленій поверхні становить 0,23 мм, а мінімальне – 0,04 мм. Збільшення подачі свердла  $s$  від 0,08 мм/об до 0,16 мм/об призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,54 рази. Збільшення діаметра свердла  $D$  від 8 мм до 12 мм призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,49 рази, а збільшення кута  $\alpha$  нахилу поверхні заготовки від 2 мм до 8 град призводить до зростання розбиття отвору  $\Delta$  в 1,79 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 737186.012.

## 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., Малафеев 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. R. Corne, C. Nath, M. El Mansori, T. Kurfess. Study of spindle power data with neural network for predicting real-time tool wear/breakage during Inconel drilling, *J. Manuf. Syst.* 2017. 43. p. 287–295.
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. S. Tamura, T. Matsumura. Cutting process simulation of flat drill. *AIP Conf. Proc.* 1960 (2018).
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. Сокіл П.А., Сокальський І.Р., Стаднійчук М.В. Дослідження параметрів процесу зміцнення поверхні отвору кульками. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 6-7 грудня 2023 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. С. 42.
18. U. Heisel, T. Pfeifroth. Influence of point angle on drill hole quality and machining forces when drilling CFRP. *Procedia CIRP.* 2012. 1. p. 471–476.
19. Shoichi Tamura, Takashi Matsumura. Cutting Force in Drilling with Flat Bottom Drill. *Key Engineering Materials.* 2022. Vol. 926. p. 1636-1642.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
21. <https://guehring.com/en/save-one-working-step-when-drilling-on-inclined-surfaces/>.
22. Ksminski, J. and Crsfoord, R. Position accuracy of drilled holes. *Ann. CIRP.* 1991. 40(1). p. 503-506.

23. J. Kaminski and R. Craford. Positional accuracy of holes when drilling in inclined workpiece surfaces. *Journal of Engineering Manufacture*. 1994. Vol. 208. p. 129-139.

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

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

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

29. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. *Перспективні технології та прилади*. Зб. наук. праць. Луцьк, 2018. Вип. 12. С. 105-110.

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

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

32. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. Краматорськ, 2012. Вип. № 31. С. 47–56.

33. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01. Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. Т., 2013. 21 с.

34. Кобельник В.Р., Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.