

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра технології машинобудування

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедрою

_____ Юрій ПЕТРАКОВ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: «Конструкторсько-технологічне забезпечення
виготовлення деталі «Корпус черв'ячного редуктора»»**

Виконав :

студент IV курсу, групи МТ-51

___ Шугай Владислав Русланович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник:

___ Фролов В.К. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, піб)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, піб)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ, 2019

Зміст

Вступ.....	10
1 ВИРІШЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ПИТАНЬ МАШИНОБУДУВАННЯ	11
1.1 Автоматизація обчислень параметрів верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори	11
1.1.1 Поняття про базування деталі на отвори.....	11
1.1.2 Програмний продукт «Параметри верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори».....	19
1.1.3 Висновки	24
1.2 Адаптація топології деталі для адитивного виробництва	25
1.2.1 Використання алгоритму пакування кругів для безсупортного адитивного виробництва	25
1.2.2 Математичне викладення задачі	27
1.2.3 Приклад реалізації алгоритму	29
1.2.4 Висновок	37
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	38
2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі	38
2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація ...	38
2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі	40
2.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу	40
2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва.....	42
2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі.....	44
2.4 Визначення виду та способу виготовлення заготовки.....	45
2.5 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу	48
2.5.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз	48
2.5.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій.....	51
2.6 Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь заготовки	53
2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі	57
2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання	63
2.9 Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки	67
2.9.1 Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом (для двох відмінних поверхонь)	67

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2.9.2	Визначення припусків аналоговими методами	70
2.10	Визначення режимів різання.....	74
2.10.1	Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом (для двох технологічних переходів)	74
2.10.2	Визначення режимів різання аналоговими методами.....	78
2.11	Нормування технологічних операцій	81
2.11.1	Розрахунок поштучного часу для операції	81
2.11.2	Нормування аналоговими методами.....	82
3	ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ	85
3.1	Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв	85
3.1.1	Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв	85
3.1.2	Послідовність розроблення конструкції пристрою.....	86
3.2	Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв.....	86
3.2.1	Розрахунок похибок базування	86
3.2.2	Визначення похибок закріплення верстатного пристрою.....	87
3.2.3	Послідовність проектного розрахунку точності пристрою.....	87
3.3	Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв.....	88
3.3.1	Розрахунок необхідної сили затиску заготовки Q для операції 01088	
3.3.2	Розрахунок силових механізмів пристроїв	91
4	ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	93
4.1	Розрахунок основних техніко-економічних показників.....	93
4.2	Визначення необхідного технологічного устаткування.....	93
4.3	Визначення капітальних витрат	95
4.4	Розрахунок технологічної собівартості	98
4.5	Визначення собівартості виготовлення заготовки	101
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	103
5.1	Забезпечення безпеки при експлуатації підйомно-транспортних машин	103
5.2	Планування обладнання для спроектованого технологічного процесу	104
	Список використаної літератури	106
	ДОДАТКИ.....	108

Технологічна документація

Маршрутні карти

Операційні карти

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Карти ескізів

Специфікації

Фрагмент G-коду

Опубліковані праці. Акт впровадження

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Вступ

Базування деталей є однією з перших проблем з якою стикаються при підготовленні виробництва, адже від правильності вибору баз напряму залежить отримання зазначених параметрів точності і якості виробу, що виготовляється. Зазвичай розрахунки для базування досить громіздкі і можна отримати помилку, що може призвести до браку. Саме тому дослідження на тему «Автоматизація обчислень параметрів верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори» є досить актуальною.

Машинобудування стало головною матеріальною базою всіх передових країн світу для реалізації науково-технічного прогресу. Технічний прогрес характеризується не лише збільшенням автоматизації виробництва і вдосконаленням конструкції машин, а й поліпшенням технологій виготовлення. Якісне, економічне та швидке виготовлення машин є складним. Саме тому актуальним є підвищення точності і якості машин, а технологічне забезпечення цих параметрів є однією з основних задач технолога.

Однією з основних задач технолога є забезпечення дотримання параметрів шорсткості, точності і якості виробу при найменших витратах. В цій роботі поставлена задача вирішується на прикладі проектування конструкторсько-технологічного забезпечення виготовлення деталі «Корпус черв'ячного редуктора».

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ВИРІШЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ПИТАНЬ МАШИНОБУДУВАННЯ

1.1 Автоматизація обчислень параметрів верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори

1.1.1 Поняття про базування деталі на отвори

При проектуванні технологічних процесів механічного оброблення корпусних деталей в якості технологічних баз часто використовуються один або два отвори. Конструктору верстатних пристроїв необхідно розрахувати максимально допустиму висоту установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки при перекосі. Інколи, при наявності у заготовки декількох отворів різного діаметра і квалітету, технологу доводиться призначати їх оптимальний комплект за критерієм найбільшої точності.

Максимально допустима висота установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки може бути призначена за залежностями з довідника [1, стор. 275].

Розрахункові схеми при установці заготовки на один та на два пальці приведені на рис. 1.1, а та 1.1, б.

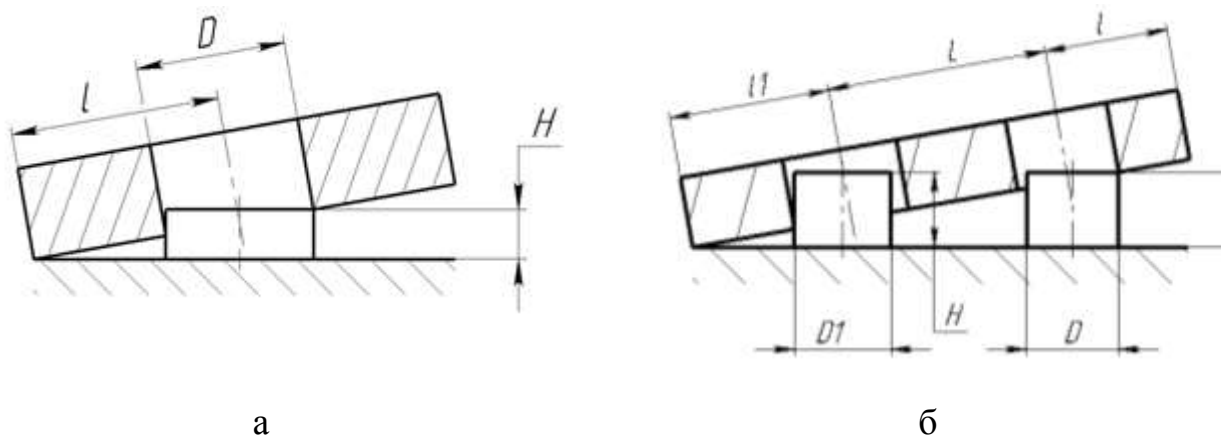


Рис. 1.1. Схема установки заготовки (а – на один палець; б – на два пальці)

Розрахункова формула при установці заготовки на один палець

$$H = \frac{l+0,5 \cdot D}{D} \cdot \sqrt{2 \cdot D \cdot \Delta_{min}} \quad (1.1)$$

та на два пальці (за умови $D = D_1$; $l = l_1$)

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$H = \frac{L+l+0,5 \cdot D}{L+D} \cdot \sqrt{2 \cdot (L+D) \cdot \Delta_{min}}, \quad (1.2)$$

де H – робоча висота пальця, мм; l – найкоротша відстань від центру отвору до краю заготовки, мм; L – відстань між центрами отворів, мм; D – найменший діаметр отвору деталі, мм; Δ_{min} – гарантований проміжок між пальцем і отвором, мм.

Аналіз залежностей показує, що розрахована за ними висота установчих пальців інколи в декілька разів менша за дійсно необхідну. При цьому формули можуть бути використані тільки за умови однакових діаметрів отворів та однакових відстаней від центрів отворів до краю заготовки, що значно звужує сферу їх використання.

Метою даної роботи є визначення узагальнених теоретичних залежностей для розрахунку висоти установчих пальців при базуванні заготовки на отвори та автоматизація процесу розрахунків.

Розрахункова схема при установці заготовки на один палець приведена на рис. 2.

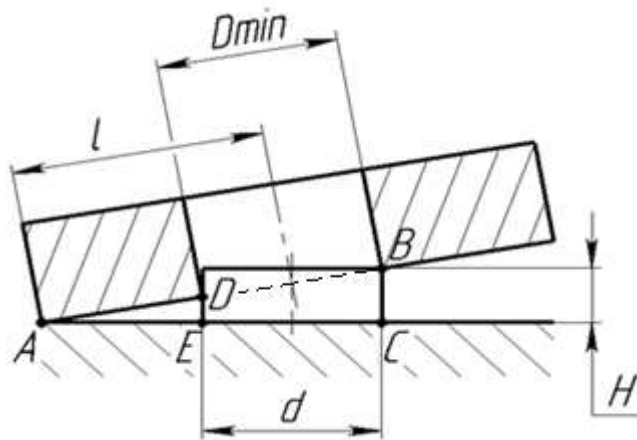


Рис. 1.2. Схема установки заготовки на один палець

З трикутника ABC отримаємо:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2, \quad (1.3)$$

де

$$AB = AD + DB;$$

$$AC = AE + EC. \quad (1.4)$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

З подібних трикутників ABC та ADE визначимо AE :

$$\frac{AE}{AC} = \frac{AD}{AB} \Rightarrow AE = \frac{AC \cdot AD}{AB}. \quad (1.5)$$

Підставимо (1.5) в (1.4):

$$AC = \frac{AC \cdot AD}{AB} + EC \Rightarrow AC = \frac{EC \cdot AB}{AB - AD}. \quad (1.6)$$

Підставимо (1.6) в (1.3):

$$AB^2 = \frac{EC^2 \cdot AB^2}{(AB - AD)^2} + BC^2.$$

Замінивши в останньому виразі відрізки їх значеннями

$$AB = l + \frac{D_{min}}{2}; EC = d; AD = l - \frac{D_{min}}{2}; BC = H,$$

отримаємо:

$$\left(l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2 = \frac{d^2 \cdot \left(l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2}{\left(l + \frac{D_{min}}{2} - l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2} + H^2.$$

Вирішивши рівняння відносно H і враховуючи, що $d = D_{min} - \Delta_{min}$ (Δ_{min} – гарантований проміжок між пальцем та отвором), остаточно отримаємо:

$$H \leq \frac{l + 0,5 \cdot D_{min}}{D_{min}} \cdot \sqrt{2 \cdot D_{min} \cdot \Delta_{min} - \Delta_{min}^2}. \quad (1.7)$$

Проведемо порівняння отриманої формули (1.7) з формулою (1.1) при вихідних значеннях $l = 20$ мм; $D_{min} = 10$ мм; $\Delta_{min} = 0,05$ мм.

При використанні виразу (1.7):

$$H \leq \frac{20 + 0,5 \cdot 10}{10} \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,05 - 0,05^2} \leq 2,4969 \text{ мм.}$$

При використанні виразу (1.1):

$$H \leq \frac{20 + 0,5 \cdot 10}{10} \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,05} \leq 2,5 \text{ мм.}$$

Відзначимо, що похибка при використанні виразу (1.1) порівняно невелика.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Розрахункова схема при установці заготовки на два пальці приведена на рис. 1.3.

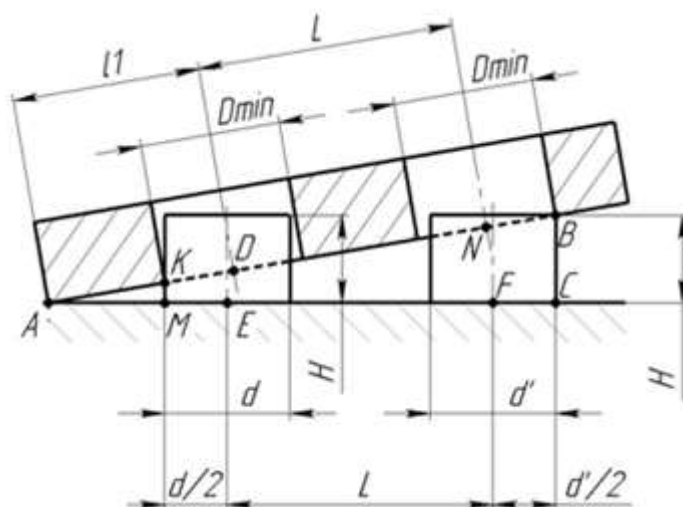


Рис. 1.3. Схема установки заготовки на два пальці

З трикутника ABC отримаємо:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2, \quad (1.8)$$

де

$$\begin{aligned} AB &= AD + DN + NB; \\ AC &= AM + ME + EF + FC; \end{aligned} \quad (1.9)$$

$$DN = EF.$$

З подібних трикутників ABC та AKM визначимо AM :

$$\frac{AM}{AC} = \frac{AK}{AB} \Rightarrow AM = \frac{AC \cdot AK}{AB}, \quad (1.10)$$

де

$$AK = AD - KD.$$

Підставимо (1.10) в (1.9):

$$AC = \frac{AC \cdot AK}{AB} + ME + EF + FC \Rightarrow AC = \frac{(ME + EF + FC) \cdot AB}{AB - AK}. \quad (1.11)$$

Підставимо (1.11) в (1.8):

$$AB^2 = \frac{(ME + EF + FC)^2 \cdot AB^2}{(AB - AK)^2} + BC^2.$$

Замінивши в останньому виразі відрізки їх значеннями

$$AB = l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2}; ME = \frac{d}{2}; EF = L_{min};$$

$$FC = \frac{d'}{2} = \frac{0,9 \cdot d}{2}; AK = l - \frac{D_{min}}{2}; BC = H,$$

отримаємо:

$$\left(l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2}\right)^2 = \frac{\left(\frac{d}{2} + L + \frac{0,9 \cdot d}{2}\right)^2 \cdot \left(l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2}\right)^2}{\left(l + L_{min} + \frac{D_{min}}{2} - l + \frac{D_{min}}{2}\right)^2} + H^2.$$

Вирішивши рівняння відносно H і враховуючи, що $d = D_{min} - \Delta_{min}$ (Δ_{min} – гарантований проміжок між пальцем і отвором); $L_{min} = L - \delta/2$ (δ – допуск на розмір L), остаточно отримаємо:

$$H \leq \frac{l + L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}}{L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{0,1 \cdot D_{min} \cdot L + 0,1 \cdot D_{min}^2 - \delta \cdot (D_{min} + L) + \Delta_{min} \cdot (1,8 \cdot D_{min} + 1,9 \cdot L) + \frac{\delta^2}{4} - 0,9 \cdot \Delta_{min}^2} \quad (1.12)$$

Проведемо порівняння отриманої формули (1.12) з формулою (1.2) при вхідних значеннях $l = 20$ мм; $D_{min} = 10$ мм; $\Delta_{min} = 0,05$ мм; $L = 100$ мм; $\delta = 0,1$ мм.

При використанні виразу (1.12):

$$H \leq \frac{20 + 100 + 5 - 0,05}{100 + 10 - 0,05} \cdot \sqrt{0,1 \cdot 10 \cdot 100 + 0,1 \cdot 10^2 - 0,1 \cdot (10 + 100) + 0,05 \cdot (1,8 \cdot 10 + 1,9 \cdot 100) + \frac{0,1^2}{4} - 0,9 \cdot 0,05^2} \\ \leq 11,89 \text{ мм.}$$

При використанні виразу (1.2):

$$H \leq \frac{20 + 100 + 0,5 \cdot 10}{100 + 10} \cdot \sqrt{2 \cdot (100 + 10) \cdot 0,05} \leq 3,77 \text{ мм.}$$

Відзначимо, що при використанні виразу (1.2) максимально допустима висота установчих пальців занижена більше ніж втричі за дійсно необхідну.

Ще одним фактором, що може впливати на максимально допустиму висоту установчих пальців, є неперпендикулярність базового отвору чи отворів базовій

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

площині. Відомо, що неперпендикулярність δ_{\perp} – це відхилення від прямого кута, яке визначається в лінійних одиницях на заданій довжині h (рис. 1.4).

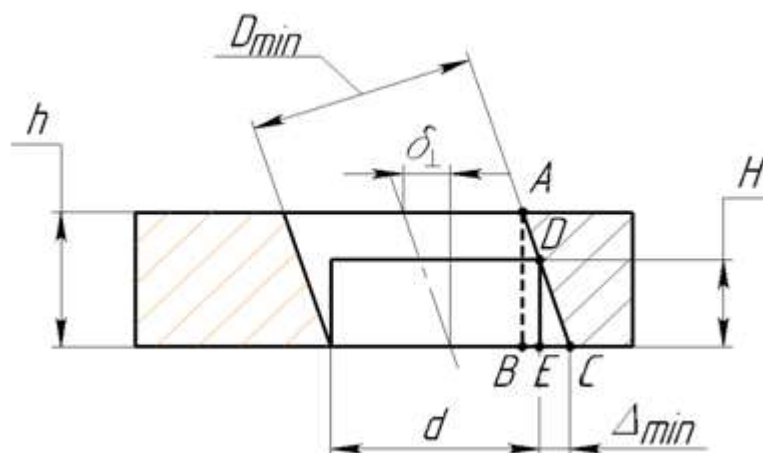


Рис. 1.4. Схема установки заготовки на один палець при неперпендикулярності базового отвору базовій площині

З трикутників ABC та DEC отримаємо:

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EC} \Rightarrow DE = \frac{AB \cdot EC}{BC}, \quad (1.13)$$

де:

$$DE = H; AB = h; EC = \Delta_{min}; BC = \delta_{\perp}.$$

Замінімо в виразі (1.13) відрізки їх значеннями:

$$H \leq \frac{h \cdot \Delta_{min}}{\delta_{\perp}}$$

При $h = 10$ мм; $\Delta_{min} = 0,05$ мм; $\delta_{\perp} = 0,1$ мм максимально допустима висота установчого пальця

$$H \leq \frac{10 \cdot 0,05}{0,1} \leq 5 \text{ мм},$$

а при $h = 10$ мм; $\Delta_{min} = 0,05$ мм; $\delta_{\perp} = 0,05$ мм

$$H \leq \frac{10 \cdot 0,05}{0,05} \leq 10 \text{ мм}.$$

Відзначимо, що неперпендикулярність базового отвору базовій площині обмежує висоту установчого пальця тільки при значних величинах допуску на неперпендикулярність.

Визначимо висоту установчих пальців при базуванні заготовки на два отвори, неперпендикулярних базовій площині. Схема установки заготовки приведена на рис. 1.5.

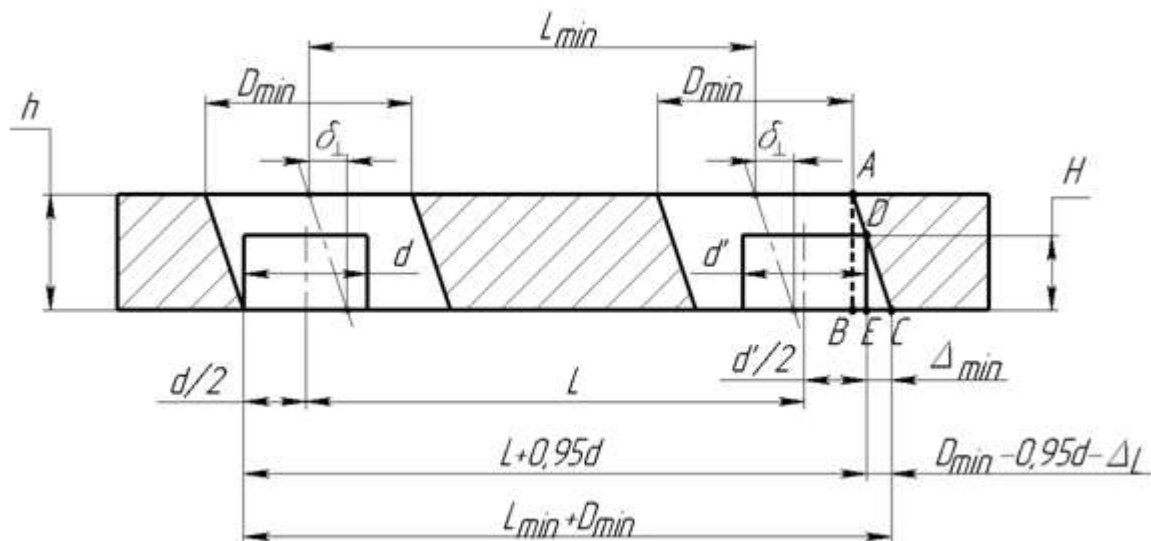


Рис. 1.5. Схема установки заготовки на два пальці при неперпендикулярності базових отворів базовій площині

З трикутників ABC та DEC отримаємо:

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BC}{EC} \Rightarrow DE = \frac{AB \cdot EC}{BC}, \quad (1.14)$$

де

$$DE = H; AB = h; BC = \delta_{\perp};$$

$$EC = (L_{min} + D_{min}) - (L + 0,95 \cdot d) = D_{min} - 0,95 \cdot d - \Delta_L.$$

Зважаючи, що $\Delta_{min} = D_{min} - d$, звідки $D_{min} = \Delta_{min} + d$, тоді

$$EC = \Delta_{min} + d - 0,95 \cdot d - \Delta_L = \Delta_{min} + 0,05 \cdot d - \Delta_L.$$

Замінімо в виразі (14) відрізки їх значеннями:

$$H \leq \frac{h \cdot (\Delta_{min} + 0,05 \cdot d - \Delta_L)}{\delta_{\perp}}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

17

При $h = 10$ мм; $\Delta_{min} = 0,05$ мм; $\delta_{\perp} = 0,1$ мм; $d = 8$ мм; $\Delta_L = 0,04$ мм
максимально допустима висота установчих пальців

$$H \leq \frac{10 \cdot (0,05 + 0,05 \cdot 8 - 0,04)}{0,1} \leq 41 \text{ мм.}$$

Відзначимо, що неперпендикулярність базових отворів базовій площині практично не обмежує висоту установчих пальців, тому при розрахунках можна нею знехтувати.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.1.2 Програмний продукт «Параметри верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори»

Залежності для визначення максимально допустимої висоти установчих пальців, отримані в результаті теоретичних досліджень, є досить громіздкими і, при розрахунках за ними «вручну», не виключаються помилки. Для спрощення процесу розрахунків авторами створено комп'ютерну програму [2].

Програма дозволяє визначати придатні для базування отвори за критерієм найбільшої точності при їх кількості більше двох, при різних величинах їх діаметрів та різній точності. Для вибраних отворів можна розрахувати максимально допустиму висоту установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки при перекосі.

Програмний продукт розроблений з використанням мови C#. Він гарантує точність і достовірність результатів розрахунків, простий у користуванні і має інтуїтивно зрозумілий для користувачів інтерфейс. Алгоритм програми зображений на рис. 1.6.

Вихідними даними для програми є: кількість отворів в заготовці, розміри заготовки (довжина, ширина, висота), координати центрів отворів, діаметри отворів та їх точність (квалітет).

Після запуску програми вибирають кількість отворів, наявних в заготовці – «один» (рис. 1.7) або «більше одного» (рис. 1.8), які будуть використовуватися для установчих пальців. Після вибору необхідно заповнити вихідні дані та таблицю з розташуванням і розмірами отворів.

При наявності в заготовці одного отвору розрахована максимально допустима висота установчого пальця виводиться на головне вікно програми. При наявності в заготовці більше одного отвору спочатку визначаються придатні для базування отвори за критерієм найбільшої точності (рис. 1.9), а потім розраховується максимально допустима висота установчих пальців (рис. 1.10).

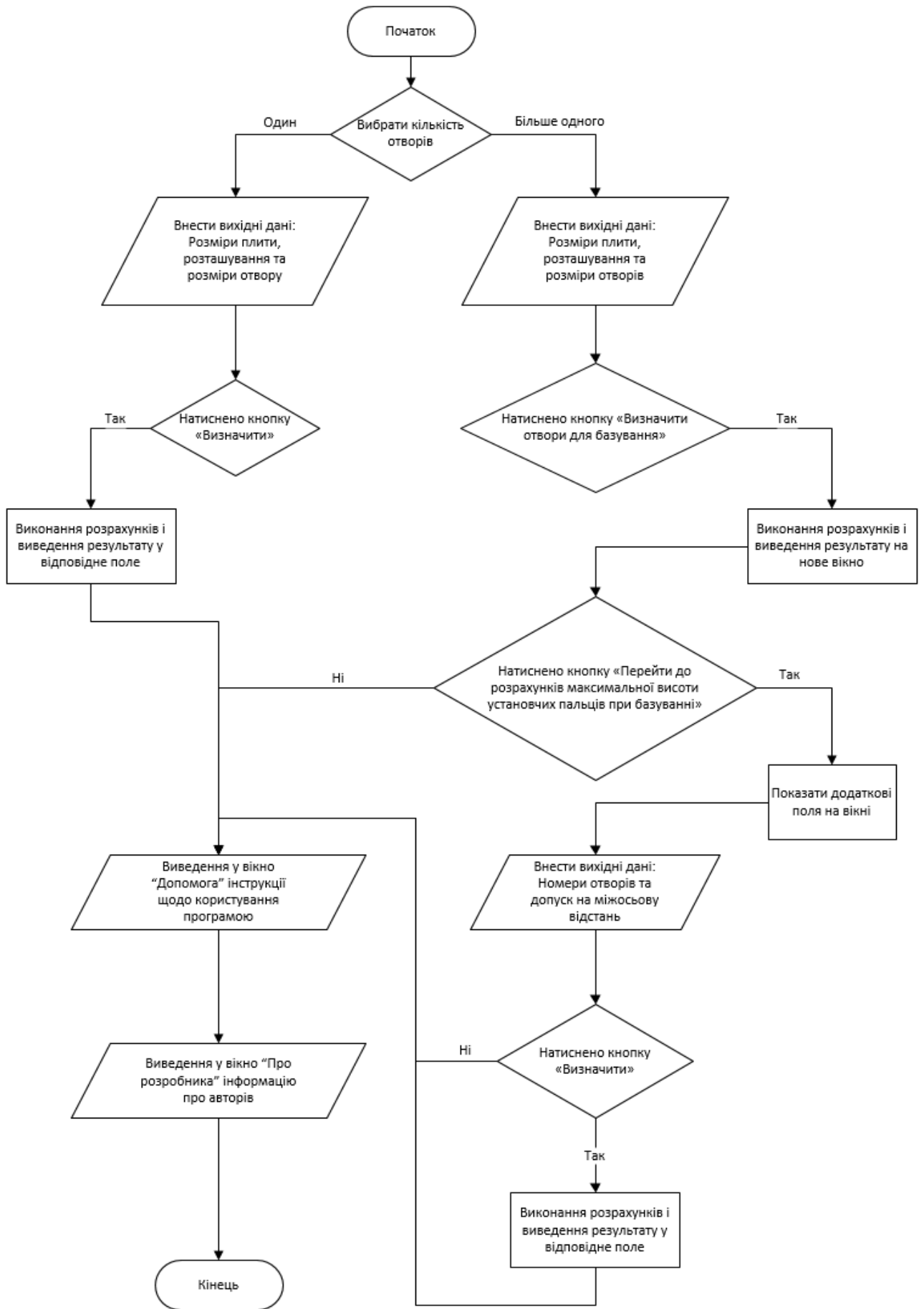


Рис. 1.6. Алгоритм роботи програмного продукту

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

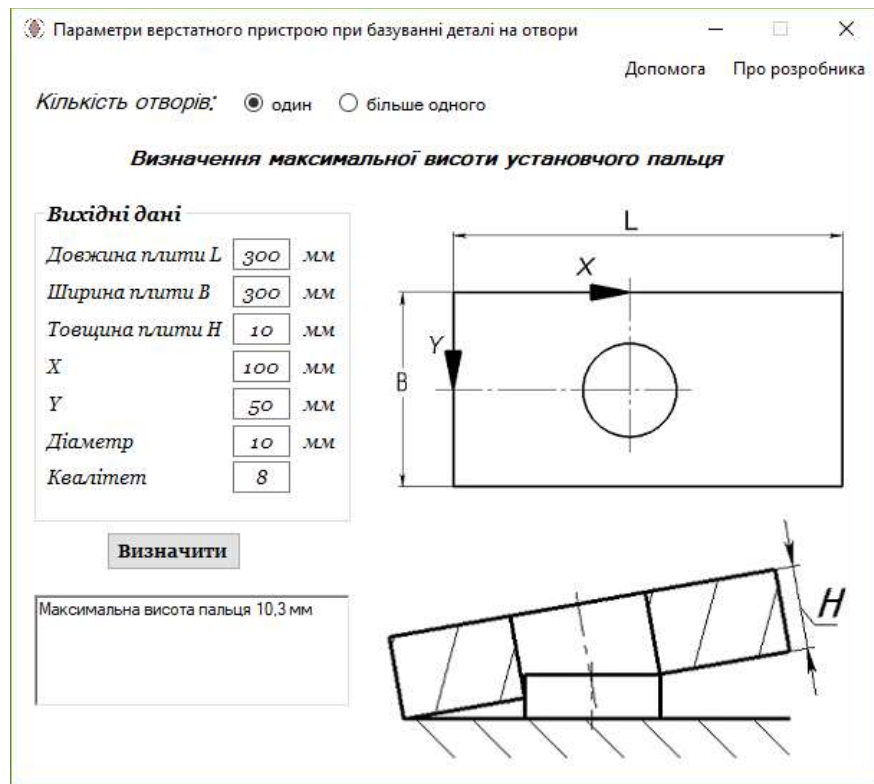


Рис. 1.7. Головне вікно програми при наявності в заготовці одного отвору

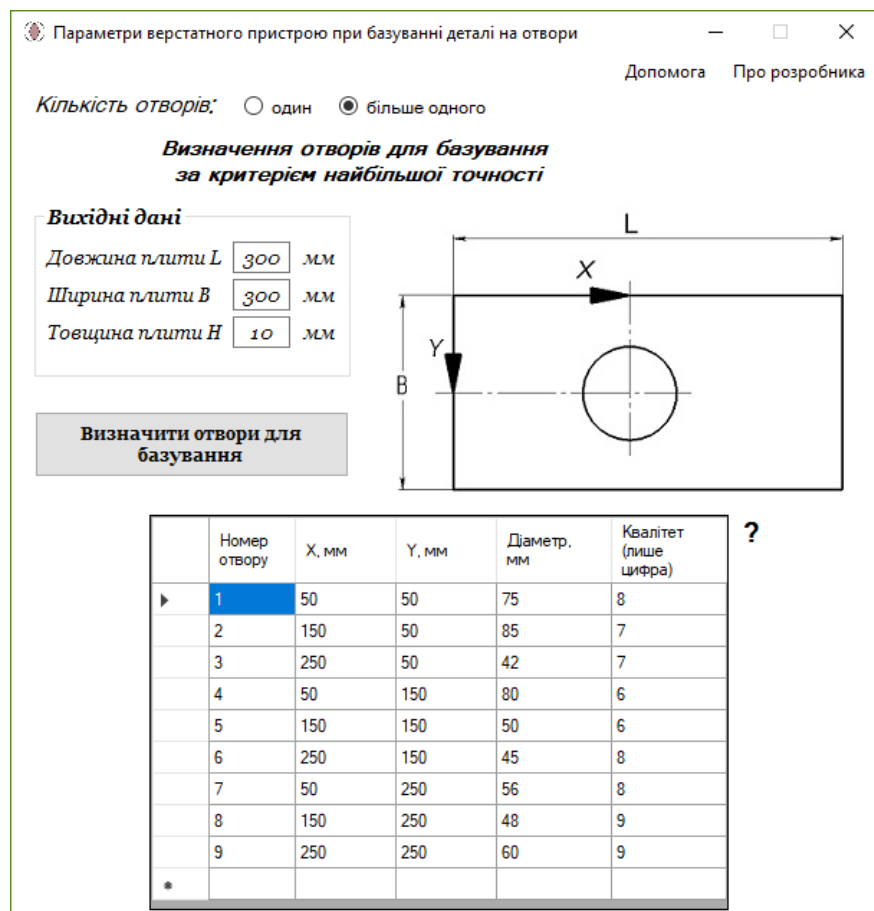


Рис. 1.8. Головне вікно програми при наявності в заготовці більше одного отвору

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рис. 1.9. Вікно «Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності»

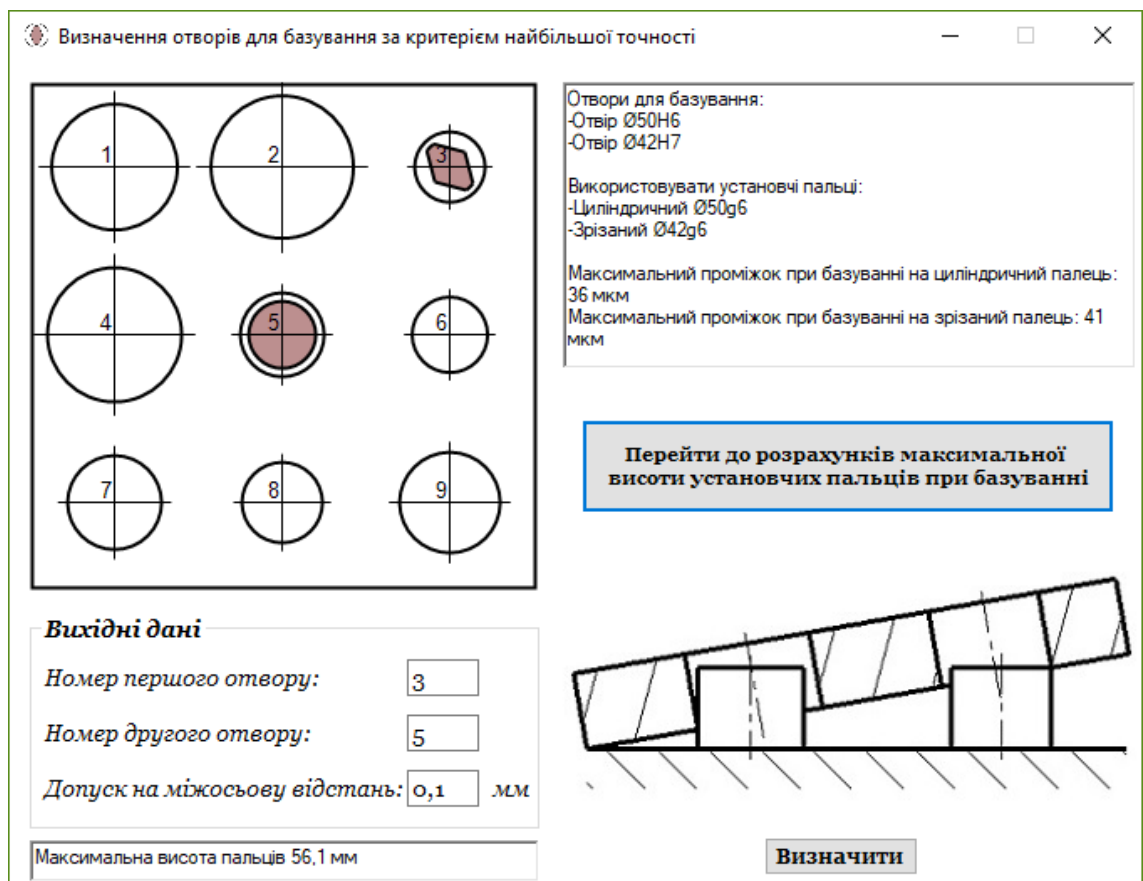


Рис. 1.10. Вікно «Визначення отворів для базування за критерієм найбільшої точності» з результатами розрахунку максимально допустимої висоти установчих пальців

З головного вікна програми можна перейти до вікон «Допомога» (рис. 1.11) та «Про розробника» (рис. 1.12), де приведена інструкція для користування та інформація про авторів відповідно.

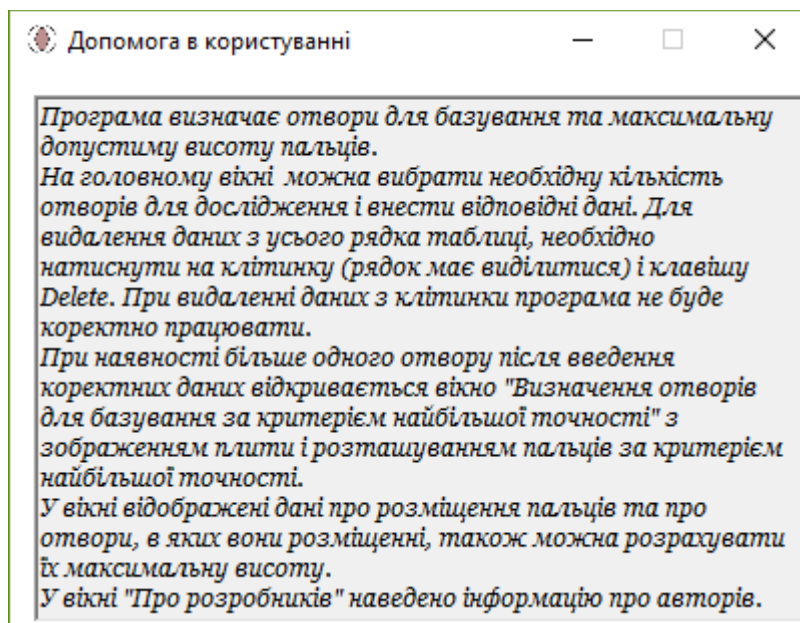


Рис. 1.11. Вікно «Допомога»



Рис. 1.12. Вікно «Про розробника»

1.1.3 Висновки

1. В результаті теоретичних досліджень отримані залежності для визначення максимально допустимої висоти установчих пальців при базуванні заготовки на один палець

$$H \leq \frac{l + 0,5 \cdot D_{min}}{D_{min}} \cdot \sqrt{2 \cdot D_{min} \cdot \Delta_{min} - \Delta_{min}^2}$$

та на два пальці

$$H \leq \frac{l + L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}}{L + \frac{D_{min}}{2} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{0,1 \cdot D_{min} \cdot L + 0,1 \cdot D_{min}^2 - \delta \cdot (D_{min} + L) + \Delta_{min} \cdot (1,8 \cdot D_{min} + 1,9 \cdot L) + \frac{\delta^2}{4} - 0,9 \cdot \Delta_{min}^2}$$

2. Неперпендикулярність базових отворів базовій площині практично не обмежує висоту установчих пальців, тому при розрахунках можна нею знехтувати.

3. Створена комп'ютерна програма для автоматизованого визначення придатних для базування отворів за критерієм найбільшої точності при їх кількості більше двох, при різних величинах їх діаметрів та різній точності. За допомогою програми можна також розраховувати максимально допустиму висоту установчих пальців за умови гарантованого встановлення заготовки при перекосі для випадків базування на один або на два отвори.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.2 Адаптація топології деталі для адитивного виробництва

1.2.1 Використання алгоритму пакування кругів для безсупортного адитивного виробництва

Пряме металеве лазерне спікання (DMLS, див. Рис. 1.13) є однією з ключових технологій для використання адитивного виробництва для серійного виробництва. Суттєвою властивістю DMLS є те, що інструменти не є необхідними в процесі виробництва. Відповідно, модель САПР може бути спроектована з багатьма ступенями свободи, напр. структури вільної форми або підрізи. Проте, деякі обмеження виробництва повинні бути враховані. Ці обмеження можуть бути сформульовані як рекомендації, які слід враховувати при проектуванні. У порівнянні зі звичайними виробничими процесами, керівні принципи розробки значно відрізняються. Таким чином, методи проектування процесу адитивного виробництва необхідні для покриття як його переваг, так і обмежень.

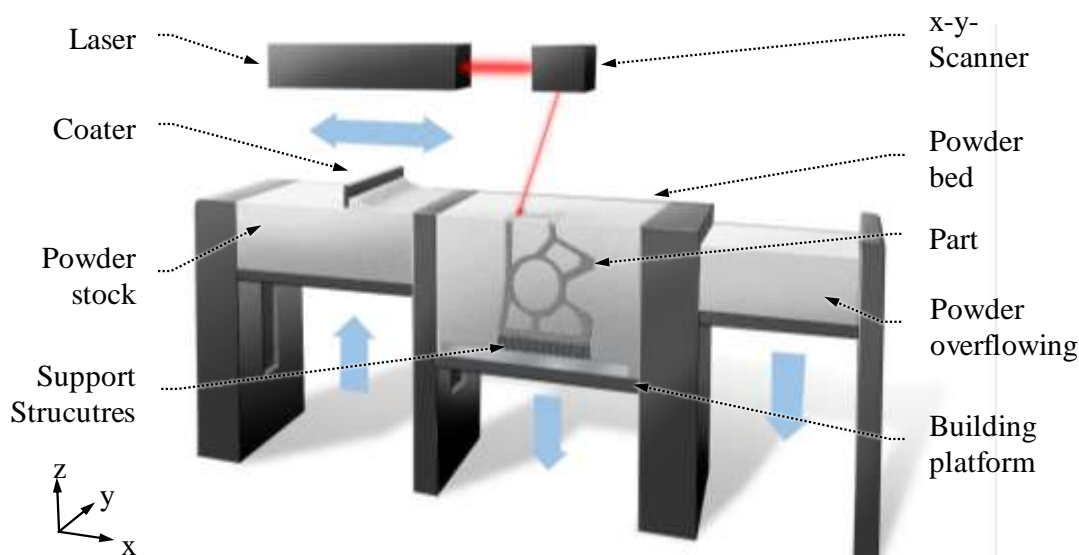


Рис. 1.13. Пряме металеве лазерне спікання в процесі

Підхід до використання переваг адитивного виробництва, зокрема DMLS, є оптимізацією топології. Завдяки ефективно розрахованому розподілу матеріалу за заданими граничними умовами можна моделювати та виготовляти ефективну геометрію (топологию). Завдання полягає в тому, щоб інтерпретувати результати оптимізації і створити частину, яка відповідає механічним характеристикам, а також обмеження виробничого процесу [3]. Таким чином, розрахункові рекомендації необхідно враховувати для забезпечення технологічності в процесі проектування. Витяг з відповідних керівних принципів проектування для DMLS наведено на рис. 2. Наприклад, необхідно дотримуватися мінімальних кутів опускання або максимальних виступів. Крім того, геометрії обмежені мінімальними і максимальними елементами форми, наприклад, товщини стінок.

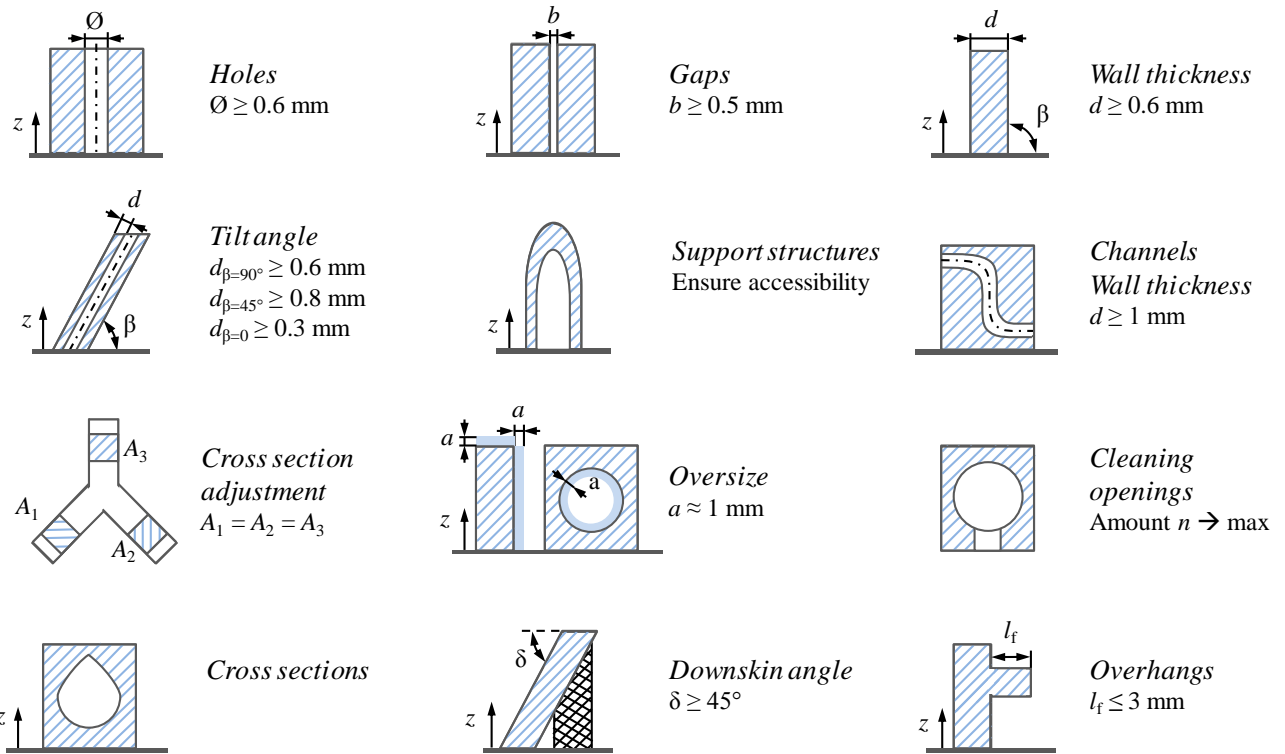


Рис. 1.14. Методичні рекомендації щодо прямого металевого лазерного спікання

З точки зору оптимізації топології, граничні значення повинні спостерігатися під час аналізу кінцевих елементів (FEA). Однак такі аспекти, як уникнення структур підтримки, повинні бути апроксимовані, використовуючи попередні атрибути. Задача оптимального розповсюдження кіл у певних областях називається задачею пакування кіл. На рис. 1.15 наведена схематична ілюстрація цього підходу.

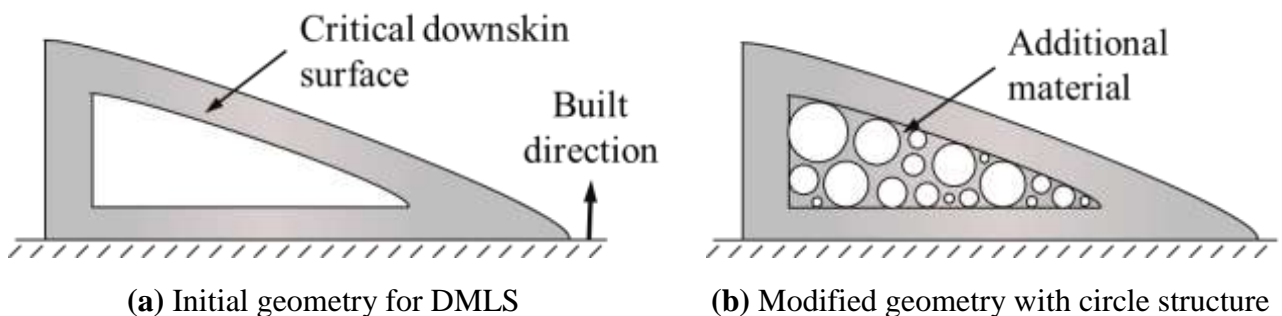


Рис. 1.15. Проблема упаковки кола для адитивного виробництва

Головною перевагою підходу є те, що кола можуть бути виготовлені до певного розміру без відсутності в процесі роботи, тому що можна спостерігати максимальний виступ і кути опускання. Крім того, найменший розмір кола може бути обмежений мінімальними розмірами отворів і зазорів. Іншим критерієм є щільність упаковки, яка обмежена мінімальною товщиною стінки між колами. Відповідні конструкторські вказівки, які обмежують структуру кола, зображені на рис. 1.16

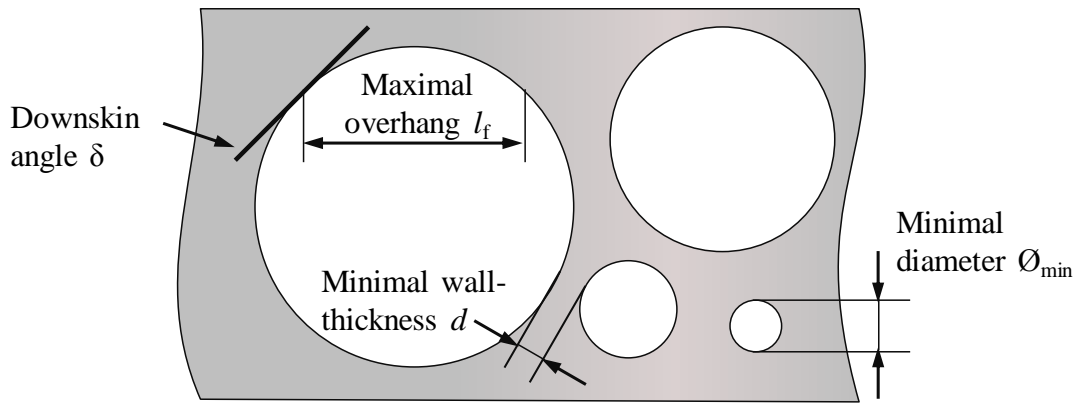


Рис. 1.16. Граничні конструкторські вказівки: $\delta = 45^\circ$, $l_f = 6$ мм; $d = 0,6$ мм; $\varnothing_{\min} = 0,6$ мм

Також остаточна геометрія не дуже чутлива до напрямку побудови. Подальшою перевагою підходу є те, що концентратори напружень відомі, а напруги можуть бути оцінені на етапі проектування. Завдяки уникненню значних відхилень в силі течії, піки в розподілі напруг виникають рідко. Крім цього фону, можна прогнозувати динамічну і втомну міцність на ранній стадії. Крім того, деталь легко обробляється, що позитивно впливає на втомну міцність. У разі високих вимог до статичної або втомної міцності, конструкція дозволяє просту технологічну реалізацію пост-обробки (свердління, шліфування тощо) для корекції неточностей у виробництві добавок, поліпшення якості поверхні та інших конструктивних концентраторів напружень. Таким чином, розмір кіл повинен відповідати можливостям пост-обробки.

1.2.2 Математичне викладення задачі

Нехай існують групи кіл з радіусами κ_k ($k \in I_K = \{1, 2, \dots, K\}$). Для зручності, нехай значення κ_k написані у порядку зростання. Кожна група складається з n_k

кіл. Отже, загальна кількість кіл $n = \sum_{k=1}^K n_k$. Позначимо кола як S_i ($i = 1, 2, \dots, n_1, n_1 + 1, \dots, n_1 + n_2, \dots, n$). Радіуси кіл S_i визначаються наступним чином:

$r_i = \kappa_1$ для $i = 1, 2, \dots, n_1$; $r_i = \kappa_2$ для $i = n_1 + 1, n_1 + 2, \dots, n_1 + n_2$; ...; $r_i = \kappa_K$ для $i = n - n_K + 1, n - n_K + 2, \dots, n$. Нехай $v_i = (x_i, y_i)$ будуть координатами центрів S_i , $i \in I_n = \{1, 2, \dots, n\}$. Вектор $v = (v_1, v_2, \dots, v_n) \in \mathbf{R}^{2n}$ визначає розташування всіх кіл S_i ($i \in I_n$) в евклідовому двовимірному просторі \mathbf{R}^2 . Нехай домен $C = \bigcup_{q=1}^Q P_q$ ($P_q \cap P_p = \emptyset$), $p, q \in I_Q = \{1, 2, \dots, Q\}$ ($p < q$) буде визначений, де P_q - опуклий багатокутник, який визначається системою нерівностей:

$$A_{mq}x_1 + B_{mq}y_1 + C_{mq} \geq 0 \quad (m=1,2,\dots,M_q).$$

Тут, $A_{mq}x_1 + B_{mq}y_1 + C_{mq} = 0 \quad (m=1,2,\dots,M_q)$ є нормальними рівняннями їх сторін. Мінімальна допустима відстань d вказана між кожною парою кіл S_i і $S_j \quad (i, j \in I_n, i > j)$.

Проблема полягає у виборі такого ансамблю кіл із множини $S_i \quad (i \in I_n)$, які можуть бути розташовані всередині домену C з максимальним коефіцієнтом упаковки з урахуванням мінімально допустимої відстані d між колами і належать $\mu \quad (\mu \leq K)$ групі кіл: $r_i = \kappa_k, \quad k \in I_\mu \subset I_K$, де $I_\mu = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_\mu\}$.

Математичну модель задачі можна викласти таким чином:

$$\Psi^* = \max \Psi(v) = \max \sum_{i=1}^n r_i^2 t_i; \quad v = (v_1, v_2, \dots, v_L) \in W \subset \mathbf{R}^n, \quad (1.15)$$

де $r_i = \kappa_k$,

$$W = \left\{ Y \in \mathbf{R}^{2n} : t_i t_j \Phi_{ij}(v_i, v_j) \geq 0, \quad i < j \in I_n \right\}; \quad (1.16)$$

$$\Phi_i(v_i) = \max_{q=1,2,\dots,Q} (A_{1q}x_1 + B_{1q}y_1 + C_{1q} - r_i,$$

$$A_{2q}x_1 + B_{2q}y_1 + C_{3q} - r_i, \dots, A_{M_q q}x_1 + B_{M_q q}y_1 + C_{M_q q} - r_i);$$

$$\Phi_{ij}(v_i, v_j) = \|v_i - v_j\|^2 - (r_i + r_j + d)^2,$$

$t_i = H(\Phi_i(v_i))$, H є функцією Хевісайда.

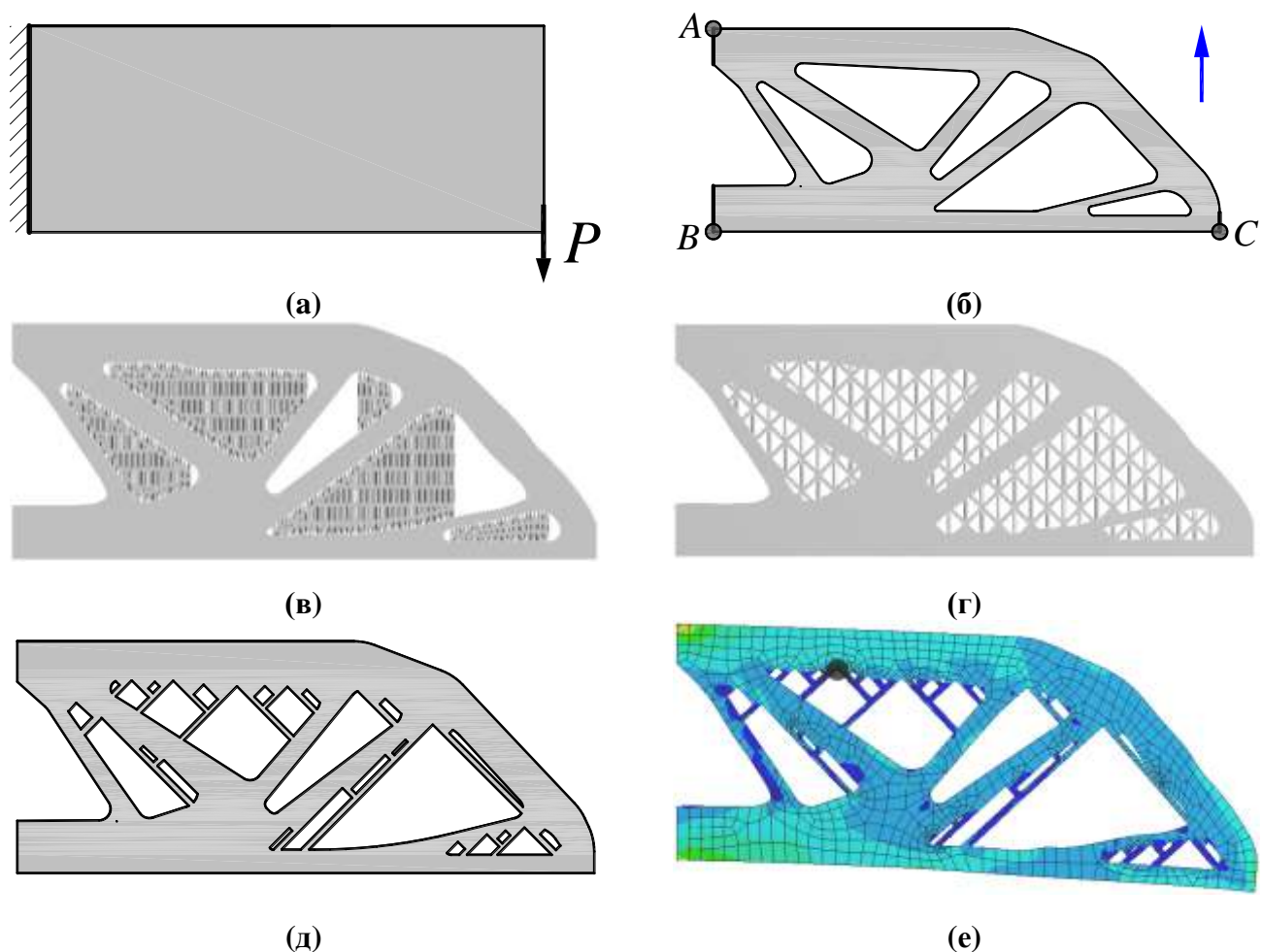
Нерівність $\Phi_i(v_i) \geq 0$ забезпечує розташування кола $S_i(v_i)$ всередині домену C ; змінна t_i вказує, чи є коло $S_i(v_i)$ всередині домену C ; нерівність $\Phi_{ij}(v_i, v_j) \geq 0$ гарантує, що відстань між колами $S_i(v_i)$ і $S_j(v_j)$ не менше встановленого значення $d > 0$, де $\Phi_{ij}(v_i, v_j)$ є скоригованою фі-функцією кіл $S_i(v_i)$ і $S_j(v_j)$, $\Phi_i(v_i)$ фі-функція кола $S_i(v_i)$ і об'єкт $\mathbf{R}^2 \setminus \text{int} C$ [4].

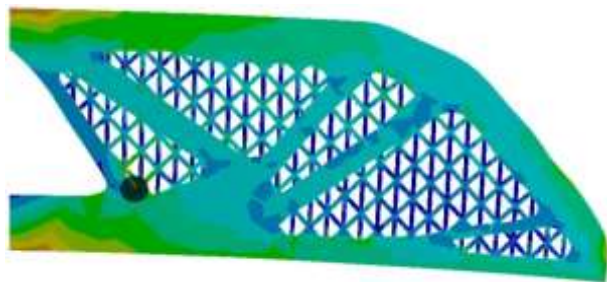
Після пакування великих кіл і формування всього набору пропонується розкласти вільні частини полігонів. Це означає вирішення задачі розміщення кіл окремо для кожного багатокутника $P_q \quad (q \in Q)$ і оцінювання загальної площі всіх упакованих кіл. У свою чергу, було б також практично розташувати кола всередині кожного полігону в такій послідовності: на кожному кроці, на основі аналізу вакантної частини багатокутника потрібно додати тільки одне коло з доступного набору. Такий підхід дозволяє гнучко використовувати всі радіуси $\kappa_k \quad (k \in I_\mu)$.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

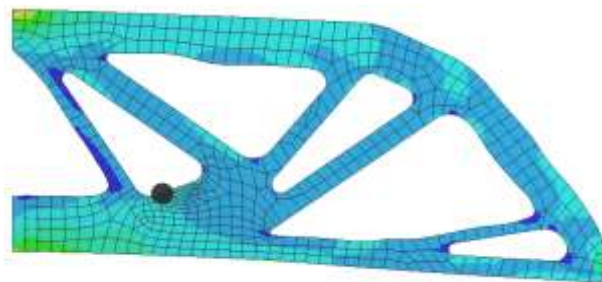
1.2.3 Приклад реалізації алгоритму

Описаний метод був реалізований для частини, дослідженої в роботі [5], причому її фронтальна проекція показана на рис. 1.17б. Ця геометрія є однією з проблемних задач оптимізації топології консольної балки 100 мм mm 40 мм mm 2 мм, яка жорстко закріплена на її кінці і завантажується в нижню частину протилежної сторони консольним навантаженням P (рис. 1.17а). Зауважимо, що ця конструкція досить поширена при тестуванні нових алгоритмів оптимізації топології. Очевидно, що пряма 3D друк даної частини (рис. 1.17б), використовуючи, зокрема, технологію DMLS, неможлива через поверхні з великими локальними градієнтами [5]. Щоб виключити несподіваний результат друку, включаючи випадок, коли фрагменти частин не приєднані до нижніх шарів або друкується робоча платформа, програмне забезпечення, яке використовується для підготовки друку 3D-моделей, забезпечує так звані опори, тобто тонкостінні розглядаються як допоміжні елементи, які необхідно видалити після завершення друку. В якості прикладу на рис. 1.17в показана геометрія оптимізованого променя, підготовленого для друку з використанням програмного забезпечення Magics від компанії Materialize. Рис. 1.17д - альтернативна модель з опорами. Крім того, опори, друковані за технологією DMLS, часто зливаються зі стінками деталей. Отже, ці опори можуть бути повністю видалені для поліпшення якості за допомогою механічних блоків з відповідними інструментами.





(є)



(ж)

Рис. 1.17. Топології пучків і розподіли напружень

Вищезазначений факт визначає актуальність публікацій [5] щодо досліджень у розробці методу проектування моделей, що не підтримують (легкий і вільний від підтримки метод проектування L&S) для їх подальшого друку, включаючи використання технології DMLS. Таким чином, допоміжні (підтримуючі) елементи, сформовані за допомогою цього методу, на відміну від опор в класичному сенсі, не видаляються після завершення друку частин. Це скорочує виробничі витрати та виробничу роботу.

Ця частина, згенерована за допомогою методу L&S, має різкі зміни форми у вигляді внутрішніх кутів. Вони являють собою так звані концентратори напруг, які викликають локальне підвищення механічних напружень. Про це свідчать результати обчислення напруженого стану під впливом статичної консольної навантаження $P = 100 \text{ N}$ (рис. 1.17е). Схема навантаження аналогічна схемі на рис. 1.17а. Якщо не враховувати картину напруженого стану в зонах кріплення деталей і точок навантаження (А, В і С, рис. 1.17б), які вирівнюються за рахунок різних конструктивних рішень, то максимальна напруга в частині становить 40 МПа. Порівняльне значення напружень було отримано також для геометрії на рис. 1.17г (29,8 МПа, рис. 1.17є). Воно також відбувається в одному з внутрішніх кутів поверхні. Для порівняння, максимальна розрахункова напруга в початковій частині (рис. 1.17б) для ідентичної схеми обчислення практично вдвічі менше - 20,5 МПа (рис. 1.17ж). Зазначимо, що обчислення виконувалися за допомогою спеціального програмного забезпечення, що реалізує FEM. Точність рішення та конвергенція контролюються як використовуючи кінцеві елементи другого порядку і зменшуючи розмір сітки поблизу концентраторів. Зони максимальної напруженості в досліджуваних ділянках частин позначені темними колами на відповідних малюнках. Обчислення виконували в припущенні, що деталі були виготовлені з порошкового матеріалу AlSi10Mg з використанням технології DMLS (напрямок друку співпадає зі стрілкою на рис. 1.17б).

Нехай домен компонування складається з п'яти полігонів: $Q = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (На рис. 6а ці області позначені римськими цифрами I – V). Нормальні рівняння сторін цих полігонів визначаються на основі наближених значень координат вершин (рис. 1.18а). Радіуси кіл визначаються в межах від 1 мм до 10 мм з кроком 0,5 мм ($r_k = 1, 1.5, 2, \dots, 10 \text{ мм}$, $k \in I_K = \{1, 2, \dots, K\}$, $K = 19$). Мінімальна допустима відстань між колами приймається рівною 2 мм ($= 2 \text{ мм}$). Кількість різних радіусів кіл $\mu = 4$. Зауважимо, що мінімальні і максимальні значення

						Арку
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	

радіусів (ξ і ξ_K) величина, що визначає мінімальну товщину стінки деталі, повинна узгоджуватися з технологічними можливостями обраного процесу виробництва присадки [5]. Кількість номінальних розмірів кіл приймається на основі особистих уподобань дизайнера. Цей алгоритм також доповнюється вимогою, щоб кожен номінальний розмір використовувався не менше, ніж для двох кіл на всій проектній області.

Для зручності опису алгоритму, кола розміщені в полігонах P_q ($q \in Q$) позначені як S_{qi} ($q \in Q, i \in J_q = \{1, 2, \dots, N_q\}$). Кожне коло S_{qi} відповідає колу S_i у моделі (1)-(2), для якої $t_i = 1$ ($i \in I_n$).

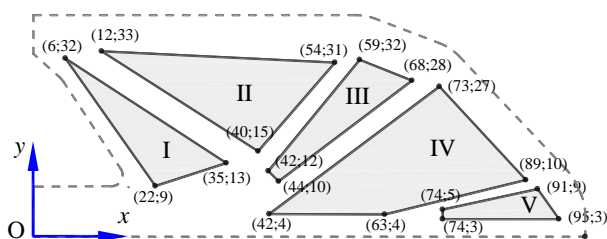
Правило формування набору I_μ враховує розміри всіх полігонів P_q ($q \in Q$). Перший елемент I_μ із $\chi_1 = 1$ відповідає мінімальному радіусу ξ . Наступним кроком є розташування кіл максимально можливих радіусів, а також максимальний найближчий радіус в наборі ξ_k ($k \in I_K$) вибраний. Для цього, як перший крок, перше коло S_{q1} ($q \in Q$) максимально можливий радіус розташований у кожному полігоні P_q . Таким чином, вирішуються наступні проблеми.

$$r_1^{q*} = \max_{X_1 \in D_1^q} r_1, \quad (1.17)$$

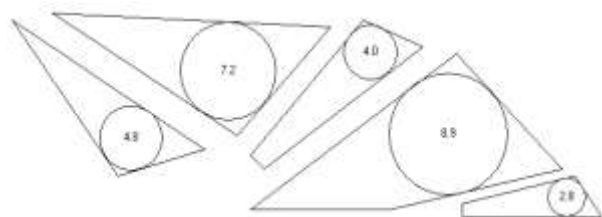
де $X_1 = (x_1, y_1, r_1) \in D_1^q \subset \mathbf{R}^3$,

$$D_1^q = \left\{ (x_1, y_1, r_1) \in \mathbf{R}^3 \mid A_{mq}x_1 + B_{mq}y_1 + C_{mq} - r_1 \geq 0, m = 1, 2, \dots, M \right\} (q \in Q). \quad (1.18)$$

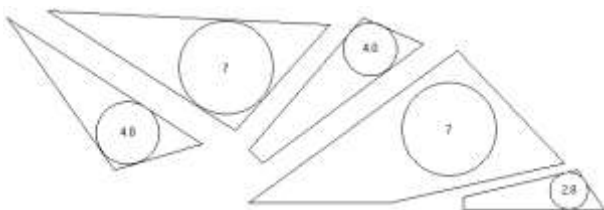
Відправні точки $X_1^{q0} \in D_1^q$ ($q \in Q$) вибираються випадковим чином. Рішення дає точки $X_1^{q*} \in D_1^q$ ($q \in Q$) (Fig. 6b).



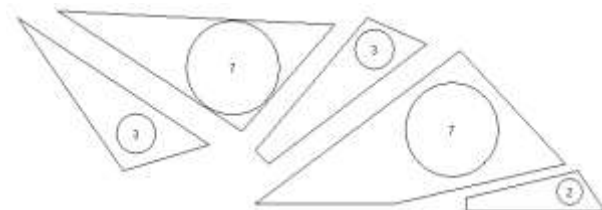
(а) область розрахунку S



(б) точки X_1^{q*}



(в) точки ξ_1^q



(г) точки ξ_1^q

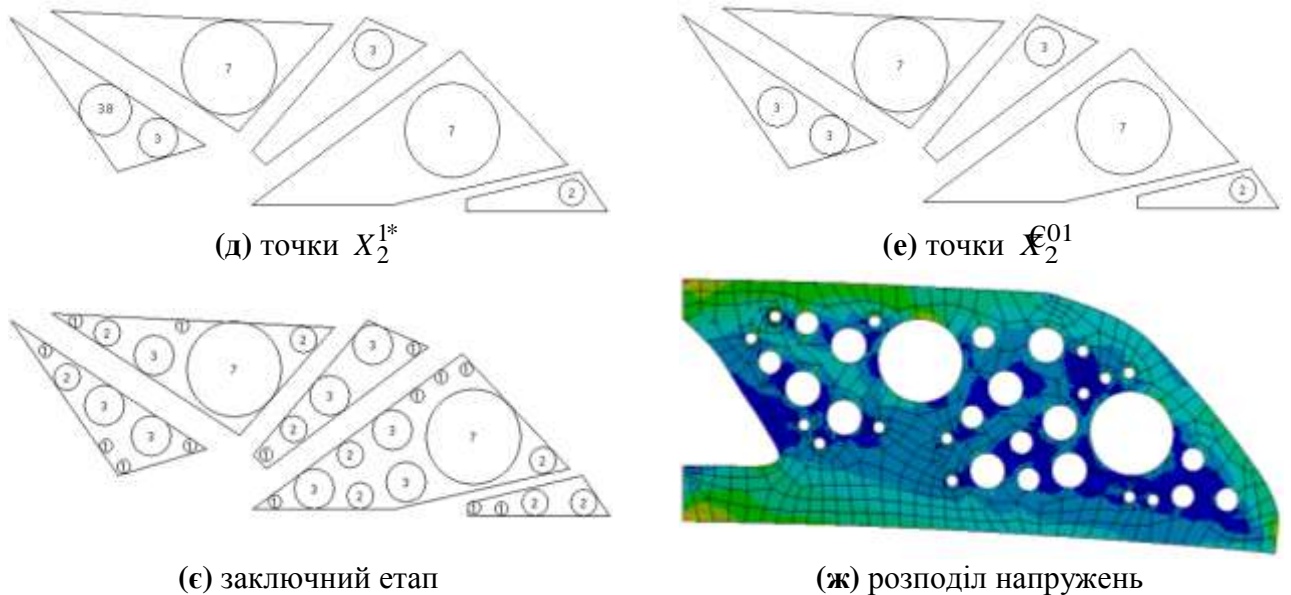


Рис. 1.18. Етапи розташування кіл

Формування множини I_μ відбувається на основі аналізу рішення задач (1.17) і (1.18). Для цієї мети два числа α^* і β^* які задовольняють нерівності $r_1^{\alpha^*} \geq r_1^{\beta^*} \geq r_1^q$ ($q \in Q \setminus \{\alpha^*, \beta^*\}$) вибрані. Для розглянутого прикладу ці числа є $\alpha^* = 4$, $\beta^* = 2$, $r_1^4 = 8.9$ мм і $r_1^2 = 7.2$ мм. Останній елемент набору I_μ вибраний як

$$\chi_\mu = \max_{k \in I_\mu, r_k \leq r_1^{\beta^*}} k. \quad (1.19)$$

Тут, $\chi_\mu = 13$ ($r_{13} = 7$ мм). Радіуси всіх кіл S_{q1} ($q \in Q$), які більше або дорівнюють r_{χ_μ} , стають рівними r_{χ_μ} (зокрема, $r_{13} = 7$ мм). Точки X_1^{q*} змінені таким чином позначаються як $X_1^q \in \mathbf{R}^3$ ($q \in Q$) (Рис. 6с). Вибір радіуса другого рангу обумовлений цим підходом. Для цього випадку радіус кола r_{χ_μ} будуть представлені, принаймні, у двох полігонах P_{α^*} і P_{β^*} .

Далі залишилися $\mu - 2$ елементи набору $I_\mu = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_\mu\}$ вибираються відповідно до набору r_k ($k \in \{2, 3, \dots, \chi_\mu - 1\}$) довільним чином. У розглянутому прикладі $\mu - 2 = 2$. Значення $\chi_2 = 3$ і $\chi_3 = 5$. Отже $I_\mu = \{1, 3, 5, 13\}$ і відповідні значення радіусів такі: $r_1 = 1$ мм, $r_3 = 2$ мм, $r_5 = 3$ мм і $r_{13} = 7$ мм.

Після остаточного формування набору I_μ , для кожного організованого кола вибирається найближче коло r_k , який не перевищує його. Це дає точки $X_1^q \in \mathbf{R}^3$ (Рис. 6d).

На завершальному етапі алгоритму кола з радіусами κ_k ($k \in I_\mu$) розташовані в полігонах P_q ($q \in Q$). Для цього для кожного багатокутника P_q ($q \in Q$), послідовно вирішуються наступні проблеми:

$$r_j^{q*} = \max_{X_j \in D_j^q} r_j \quad (j=2,3,\dots), \quad (1.20)$$

де $X_j = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_j, y_j, r_j) \in D_j^q \subset \mathbf{R}^{2j+1}$,

$$D_j^q = \left\{ X_j \in \mathbf{R}^{2j+1} \mid \begin{aligned} &A_m x_l + B_m y_l + C_m - \kappa_l^{q*} \geq 0, \quad l=1,2,\dots,j-1, \\ &A_m x_j + B_m y_j + C_m - r_j \geq 0, \quad m=1,2,\dots,M, \\ &(x_l - x_t)^2 + (y_l - y_t)^2 - (\kappa_l^{q*} + \kappa_t^{q*} + d)^2 \geq 0, \quad l,t=1,2,\dots,j-1, \quad l < t, \\ &(x_l - x_j)^2 + (y_l - y_j)^2 - (\kappa_l^{q*} + r_j + d)^2 \geq 0, \quad l=1,2,\dots,j-1 \end{aligned} \right\}. \quad (1.21)$$

Початкові точки $X_j^{0q} \in D_j^q$ для вирішення задач (1.20) і (1.21) будуються на основі точок X_{j-1}^q (точки X_1^q для $j=2$) ($q \in Q$). Рішення дає точки $X_j^{q*} \in D_j^q$ ($q \in Q$). Точки X_j^{q*} змінюються відповідно до набору радіусів κ_k ($k \in I_\mu$) дати точки X_j^{0q} ($q \in Q$).

Точки X_2^{1*} ($r_2^{1*} \approx 3.8$) і точка X_2^{01} показані на рис. 1.18д і рис. 1.18е відповідно, в якості прикладів. Як тільки $r_j^{q*} < \kappa_j$, рішення задач (1.20) і (1.21) припиняється. Позначимо число розташованих кіл як J_q , і точку, відповідну останньому розташуванню, як $X_{J_q}^q$. У результаті встановлюється набір точок

$X_{J_q}^{q*}$ ($q \in Q$) буде відповідати певному розташуванню кіл і до вирішення $\Psi^* = \Psi(v^*)$ задач (1.15) і (1.16). Для розглянутого прикладу остаточне розташування кіл показано на рис. 1.18є. Задачі (1.17), (1.18), (1.20) і (1.21) були вирішені з використанням системи оптимізації, заснованої на методі внутрішньої точки (Interior Point Optimizer), яка використовує інформацію про градієнти і геси (функції об'єктиву і обмеження).

Подальша ВЕА напруженого стану отриманої частини (з обчислювальною схемою, подібною до описаної вище) вказує на найменшу максимальну механічну напругу (21,1 МПа) порівняно з геометріями, показаними на рис. геометричних концентраторів напружень і дещо більшої маси деталі. Зокрема, його маса становить 13,8 г, тоді як маса частини на рис. 1.17б становить 10,7 грама. 1.17в - 14,7 грам; 1.17г і 1.17д - 11,9 грам. Маса вихідної моделі (рис. 1.17а) становить 21,2 грам. Очевидно, що збільшення частки маси підвищує

						Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	
					33	

собівартість виробництва і є причиною зростання інерційних навантажень у разі нестаціонарних коливань тощо. Проте, в той же час, запропонований алгоритм проектування деталей, що готується до 3D друку, на відміну від описаного в [4], не настільки чутливий до напрямку друку. Це може бути використано у випадку підвищених вимог до міцності деталі, оскільки його матеріал, отриманий за допомогою технології DMLS, зокрема, AlSi10Mg, належить до класу поперечно-ізотропних ($E_x=E_y \neq E_z$). Вибравши напрямок друку, шаблон напруженого стану може бути злегка «скоригований» для заданого статичного зовнішнього навантаження.

Використання круглих циліндричних поверхонь без гострих кутів також різко спрощує і підвищує ефективність різних видів холодної обробки для друкованої частини, зокрема, дробеструйної обробки, застосовуваної до більшості деталей, виконаних за технологією DMLS. Потреба в цій операції впливає з наступного факту. Діапазон практичного застосування деталей з алюмінієвих матеріалів, таких як AlSi10Mg, відомий як великий, оскільки при порівняно низькій щільності цей матеріал демонструє високу твердість, володіє прекрасними тепловими властивостями і має відносно високу статичну і динамічну міцність. Проте динамічна міцність, зокрема міцність на витривалість, значною мірою залежить від багатьох факторів, включаючи якість зовнішніх поверхонь деталі, яка кількісно визначається параметром шорсткості поверхні R_a . Цей параметр, через коефіцієнт γ , впливає на точку стомлення деталі σ_R . Надрукована технологічна частина DMLS, хоча і має прийнятну внутрішню просторову однорідність матеріалу, в той же час, однак, має низьку якість зовнішніх поверхонь - значення R_a знаходиться всередині 8 to 15 μm залежно від просторової орієнтації даної поверхні під час друку. Дробоструйна обробка не тільки знижує параметр R_a , але й створює ефект відстроченого розтріскування і знижує швидкість його розповсюдження внаслідок виникнення поля залишкових напружень стиснення в частині підповерхневого шару. Це вказує на те, що процес обробки може трохи збільшити витривалість частини. Чисельно, це може бути виражено коефіцієнтом γ який зростає до 5 % (з 0.83 до 0.87) з параметром зменшення R_a з 8 μm до 4 μm для $\sigma_U=345$ МПа.

Зрозуміло, що обробка пострілу буде позитивно впливати на поверхні, які можна назвати «відкритими». Внутрішні кути, в межах яких, як правило, досягається максимальне механічне напруження, навряд чи можуть належати до таких кутів. Отже, в межах даної установки кращими є геометрії на рис. 1.17ж і 1.18ж.

Заміна внутрішніх складних поверхонь у вигляді платформи круглими циліндричними (рис. 1.18ж) у частині на рис. 1.17б цих поверхонь. Зокрема, за допомогою фрезерування, параметр шорсткості може бути зменшений до 2 μm , що відповідає збільшенню коефіцієнта γ на 10 % (з 0.83 до 0.92). У цьому випадку граничні значення радіусів кола (r_1 і r_K) і проміжного з'єднання r_k ($k=2,3,\dots,K-1$), як правило, кількість стандартних розмірів кіл, що використовуються в якості вихідних даних для описаного тут алгоритму, повинно бути узгоджено з технічними параметрами ймовірної подальшої

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

обробки частини. Для валідації деталі виготовляються з використанням системи виробництва “EOSINT M280”. Розмір технологічної камери становить $250 \times 250 \times 325 \text{ мм}^3$. Лазер Yb: YAG має максимальну вихідну потужність $P=400 \text{ W}$ на довжині хвилі $\lambda=1,030 \text{ нм}$. Дзеркало відхилення дозволяє здійснювати швидкість сканування до $v_s = 5000 \text{ мм/с}$. Для обробки AlSi10Mg в якості захисного газу використовується аргон. Під час виготовлення деталей поверхня верхньої та нижньої частини поверхні піддається впливу потужності лазера $P = 370 \text{ W}$ і швидкість сканування $v_s = 775 \text{ мм/с}$. Частина серцевини піддається швидкості сканування $v_s = 1300 \text{ мм/с}$ і контури повторно експоновані $v_s = 230 \text{ мм/с}$.

Після того, як деталі були відокремлені від платформи для будівництва, надлишок порошку видаляється. Крім того, деталі віджигують під напругою при 200° C протягом 3 годин і додатково розтирають. 7а показує кінцеву частину з циліндричними отворами. Видно, що дефектів майже немає. Тільки круги злегка опускаються в процесі, тому результат у вигляді еліптичних отворів. Однак цей ефект з'являється лише локально. 7б показує частину після пост-обробки для зменшення шорсткості поверхні і для поліпшення якості отворів. Пост-обробка проводиться на прецизійному шліфувальному верстаті і свердлінням отворів. Таким чином, необхідне мінімальне зусилля після завершення процесу, а також можна підвищити втомну міцність деталі.



(а) Розслідувана частина



(б) Частина після постобробки

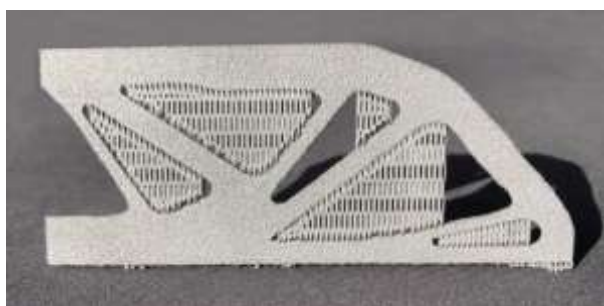
Рис. 1.19. Виготовлені деталі з циліндричними отворами

На відміну від рис. 1.20 зображено друковані моделі, включаючи звичайні структури підтримки. На рис. 1.20а показана початкова геометрія без опорних конструкцій. Зрозуміло, що ділянки з низьким кутом нижньої шкіри мають серйозні дефекти. Це пов'язано з тим, що нависи в процесі занурюються в негативний z-напрямок. Особливо горизонтальна поверхня у верхній області показує дефекти. Тому деякі стійки початкової геометрії не утворюються через високий ступінь деформації. На рис. 1.20б показана початкова геометрія з опорними структурами, які потім обчислюються матеріалізованими магіями. Щоб отримати остаточну форму, ці структури повинні бути зняті згодом. Через контур деталі повинні використовуватися ручні постпроцеси. На рис. 1.20в показана модель згідно з підходом [5]. Слід підкреслити, що експерименти в роботі [5] були проведені за допомогою методу Fused Deposition Modeling, в якому можуть бути досягнуті хороші результати. Навпаки, використання DMLS призводить до серйозних дефектів (рис. 1.20в). Завдяки філігранним ріпам у поєднанні з невеликою товщиною деталі (2 мм) деякі геометрії не можуть бути

виготовлені. Вони повинні бути переглянуті для DMLS шляхом коригування товщини стінок і розмірів елементів.



(а) Без опорної структури



(б) Структура підтримки, створена програмним забезпеченням



(в) Структура, запропонована в [9]

Рис. 1.20. Виготовлені деталі зі звичайними опорними конструкціями

Порівнюючи рис. 1.19 і рис.1.20, можна сказати, що застосування кіл як структури без підтримки призводить до дуже хороших результатів. У порівнянні з іншими стратегіями для уникнення структур підтримки з використанням DMLS, виникають лише локальні дефекти. Навіть по відношенню до деталей з опорними конструкціями, які створюються спеціалізованим програмним забезпеченням і повинні бути видалені в постпроцесі, точність виготовлених деталей з циліндричними отворами дуже хороша. Крім того, зусилля після обробки значно знижуються, оскільки майже всі ручні кроки для видалення опорних конструкцій усуваються. Слід зазначити, що загальна вага трохи вище. Щоб підвищити втомну міцність при необхідності, деталь легко обробляється шляхом поліпшення шорсткості поверхні, оскільки структура кола дозволяє застосовувати стандартизовані технологічні засоби.

1.2.4 Висновок

Описується підхід до розробки "безсистемних структур" для аддитивного виробництва на основі методу розв'язання задач упаковки кола. Цей підхід застосовується для проектування та прямого виготовлення плоскої консольної балки, геометрія якої отримана топологічною оптимізацією. Для перевірки запропонованого підходу різними геометріями плоских консольних балок були виготовлені ДМРС і представлений алгоритм враховує його відповідні обмеження. Відсутність опорних структур в класичному сенсі, які видаляються після DMLS-процесу, визначає, що частини кругових структур дещо відрізняються від його CAD-моделі. Тому можна прогнозувати міцнісні властивості деталі на ранній стадії її проектування. Перевагою описаного підходу є слабка чутливість заданої геометрії до напрямку друку і простота подальшої постобробки. Слід зазначити, що ця пост-обробка дозволяє незначно підвищити втомну міцність деталі за рахунок поліпшення її якості поверхні. Наявність гладких поверхонь і відсутність гострих внутрішніх кутів, як концентраторів механічних напружень, також є позитивним фактором з точки зору розподілу напруженого стану. Виготовлені пучки з використанням різних препаратів для DMLS, а також порівняння аналізу кінцевих елементів затверджують ефективність описаного підходу.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі

2.1.1 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація

Деталь «Корпус черв'ячного редуктора» за її конструктивними особливостями можна віднести до класу «Корпусних деталей». Цей «Корпус черв'ячного редуктора» є основною деталлю складальної одиниці, це корпус черв'ячного редуктора з нижнім розташуванням черв'яка, зверху він закривається кришкою. Деталь має:

- Площину, якою вона ставиться на раму або плиту і кріпиться до неї за допомогою 4-х отворів $\varnothing 13$;
- ступінчастий отвір вздовж горизонтальної осі, який складається з:
 - проточки $\varnothing 66H10$ довжиною 4 мм;
 - отвору під стакан, в якому будуть розташовуватися два радіально-упорних підшипники, $\varnothing 62H7$ довжиною 16 мм;
 - вільної поверхні $\varnothing 76$, для зменшення ваги, довжиною 24 мм;
 - отвору під кришку $\varnothing 62H7$ довжиною 10 мм;
 - проточки $\varnothing 66H10$ довжиною 5 мм;
 - вільної поверхні $\varnothing 73$, в якій буде розміщуватися черв'як, розташованої під кутом 2° до горизонтальної осі з обох боків;
 - отвору під стакан, в якому буде розташовано кульковий радіальний підшипник;
 - проточки $\varnothing 62H10$ довжиною 3 мм.
- на двох торцевих поверхнях по обидва боки отвору знаходиться по 6 кріпильних отворів M5-6H під кришки;
- ступінчастий напівотвір, котрий вище від попереднього отвору, вздовж іншої горизонтальної осі, яка перпендикулярна осі першого отвору, є симетричним відносно вертикальної осі і має:
 - два отвори R17H7 довжиною 30,5 мм, під стакани з підшипниками;
 - вільну поверхню R68 в якій буде розміщено черв'ячне колесо.
- прямокутне вікно 45x106, яке сполучає отвори;
- циліндричну бобишку $\varnothing 16$ з різьбовим отвором M8-6H розташовану з правого боку деталі на висоті 59 мм;
- бобишку з лівого боку в якій знаходиться маленький ступінчастий отвір, для зливу мастила, під кутом 5° до горизонталі, який має:
 - проточку $\varnothing 22$ глибиною 2 мм;
 - отвору $\varnothing 8,5$ глибиною 15 мм в якому розташована різь M10-6H глибиною 13 мм;
 - отвору $\varnothing 6$ глибиною 42 мм.
- горизонтальну площину на висоті 150 мм, до якої приєднується кришка, на якій розташовані 4-и кріпильні отвори M10-6H та 2 отвори $\varnothing 4H7$ глибиною 6 мм під штифти.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

В усіх отворах є фаски $(0,5-1,6) \times 45^\circ$.

Габаритні розміри деталі «Корпус черв'ячного редуктора» - 196x143x150 мм.

Матеріал деталі – СЧ 30 ГОСТ 1412-85

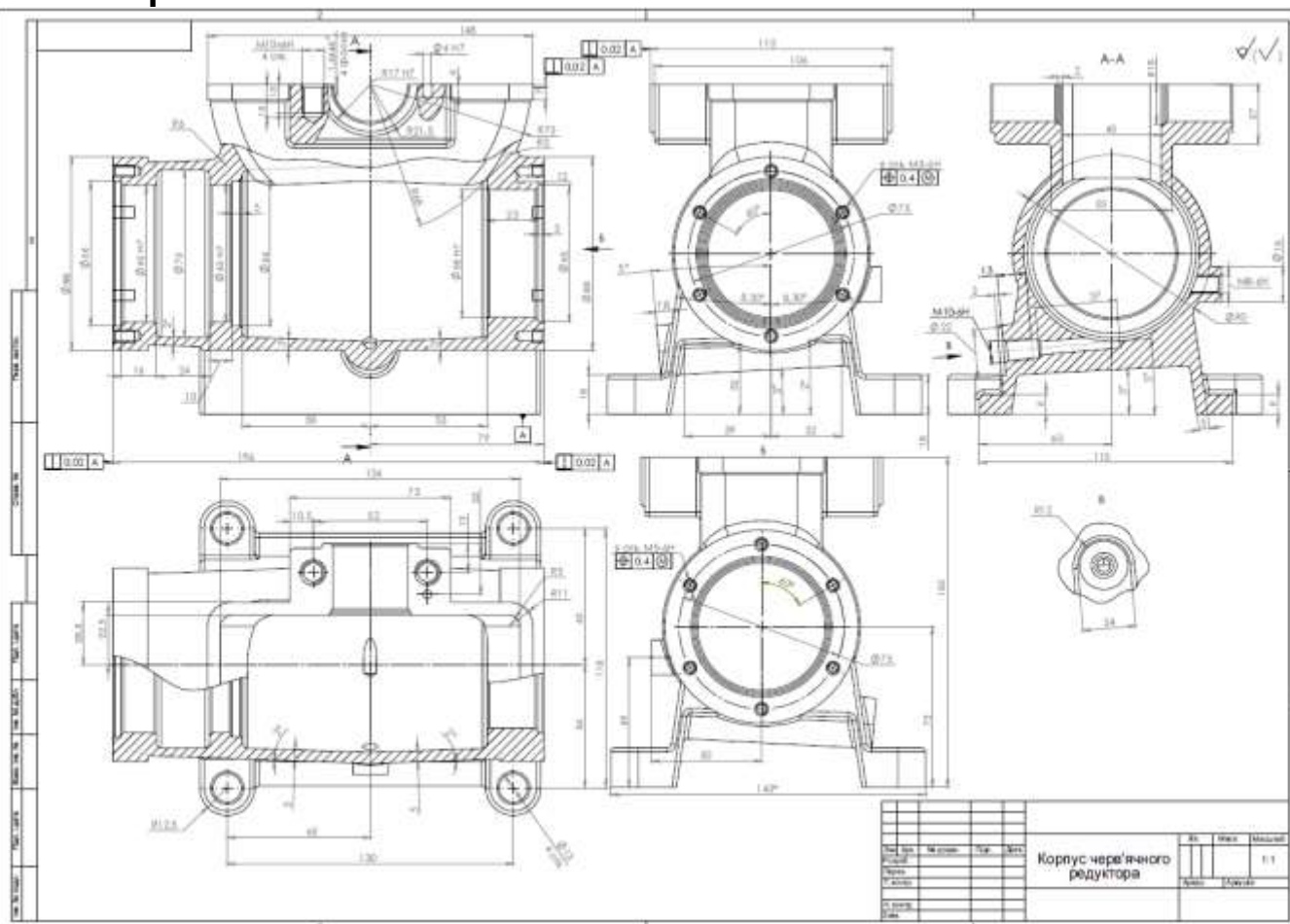


Рисунок 2.1 – Креслення деталі «Корпус черв'ячного редуктора»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

39



Рисунок 2.2 – 3Д модель деталі «Корпус черв'ячного редуктора»

2.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

Деталь «Корпус черв'ячного редуктора» є основною частиною черв'ячного редуктора, її функція утримання та точного позиціонування в собі черв'яка та черв'ячного колеса для збільшення крутного моменту та зменшення кутової швидкості. Деталь також слугує для погашення вібрації та поліпшення змащення передачі. Тож вона працює в умовах невеликих знакозмінних навантажень, але під дією агресивних середовищ.

2.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

При роботі «Корпус черв'ячного редуктора» піддається навантаженням: вібраціям, дії зусиль від обертання та утримання черв'яка та черв'ячного колеса. Тому до міцності висуваються певні вимоги. Заготовка виготовляється з сірого чавуну СЧ30 ГОСТ 1412-85. Цей матеріал рекомендують для виготовлення деталей такого типу, що забезпечить довготривалу роботу в заданих умовах експлуатації.

Сірий чавун СЧ 30 має такий хімічний склад (табл1.1).

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сірого чавуну СЧ 30 ГОСТ 1412-85

C	Si	Mn	S	P
3,0-3,2	1,3-1,9	0,7-1	до 0,12	до 0,2

Сірий чавун СЧ30 за ГОСТ 1412-85 має такі фізико-механічні властивості (табл. 1.2).

Таблиця 2.2 – Фізико-механічні властивості сірого чавуну СЧ 30 ГОСТ 1412-85

ρ , кг /м ³	НВ	σ_B , МПа	E, МПа	Величина лінійної усадки, %	Теплопровідність при 20 °С λ , Вт(м*К)
7300	163-270	300	1,3 · 10 ⁵	1,3	46

Отже, матеріал заготовки СЧ30 підібраний вірно і забезпечує роботу деталі в даних умовах експлуатації.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва

Однією з основних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій (K_{30}), який визначається як відношення кількості всіх операцій, що виконуються або повинні виконуватися протягом базового відрізка часу до загальної кількості робочих місць [7]. Розраховується за формулою:

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n OP_i}{\sum_{j=1}^m PM_j}, \quad (2.1)$$

де K_{30} – коефіцієнт закріплення операції, розрахований на місяць; ОП – загальна кількість операцій, які виконують на дільниці на протязі місяці; РМ – кількість робочих місць на дільниці, які виконують різні технологічні операції.

1. $K_{30} = 1$ — масове виробництво;
2. $1 < K_{30} < 10$ — великосерійне виробництво;
3. $10 < K_{30} < 20$ — середньосерійне виробництво;
4. $20 < K_{30} < 40$ — малосерійне виробництво;
5. $K_{30} > 40$ — одиничне виробництво.

Враховуючи, що у нас відсутні дані по технологічному виготовленню такої деталі, ми не можемо використовувати цю формулу. Тому тип виробництва визначається за масою деталі та обсягом випуску продукції [7]. У цьому випадку тип виробництва визначається за таблицею 1.3.

Таблиця 2.3 – Залежність типу виробництва від обсягу випуску та маси деталі

Тип виробництва	Річний обсяг випуску виробів Nр, шт.		
	важкі M > 100 кг	середні 10 < M < 100 кг	легкі M < 10 кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Малосерійне	5 - 100	10 - 200	100-500
Середньосерійне	100 - 300	200 - 500	500-5000
Великосерійне	300 - 1000	500 - 5000	5000-50000
Масове	Понад 1000	Понад 5000	Понад 50000

У системі автоматизованого проектування SolidWorks будуємо 3D-модель деталі «Корпус черв'ячного редуктора» та розраховується її маса – рис. 2.3.

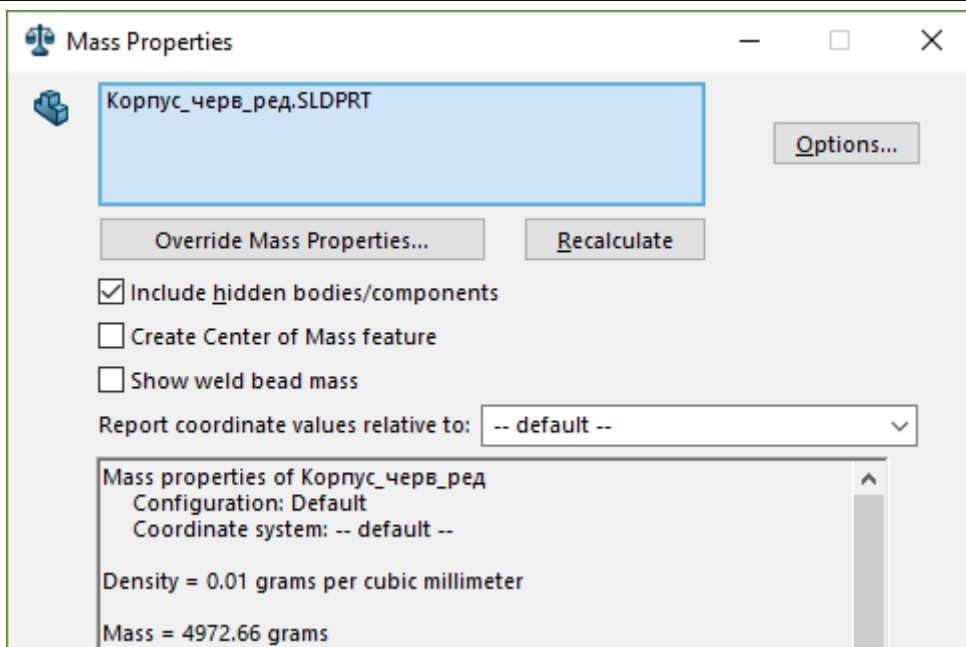


Рисунок 2.3 - Масові характеристики деталі «Корпус черв'ячного редуктора»

Відповідно до заданої річної програми випуску деталей (300 шт.), а також в результаті аналізу конфігурації деталі, її маси і габаритів, можна стверджувати, що орієнтовно виробництво для виготовлення кондуктора – малосерійне [7].

Розмір партії деталей n визначаємо за формулою:

$$n = \frac{N \cdot t}{F}, \quad (2.2)$$

де N – річна програма випуску деталей (шт.); t – кількість днів, на які потрібно мати запас деталей (шт.); F – кількість робочих днів у році.

Підставивши у цю формулу $t=10$; $F=245$, отримаємо:

$$n = \frac{200 \cdot 10}{245} = 12,3 \text{ (дет.)}$$

Для спрощення приймаємо партію $n = 12$ (дет.)

Отже, тип виробництва – малосерійне. Розмір партії – 12 деталей.

2.3 Короткий аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність – це властивість виробу, яка забезпечує найбільш просту реалізацію технологічного процесу [7].

Відпрацювання деталі на технологічність представляє собою комплекс заходів по забезпеченню необхідного рівня технологічності конструкції по встановленим показникам, направлена на підвищення продуктивності праці, зниженню витрат і скорочення часу на виготовлення виробу з забезпеченням належного рівня якості.

Оцінка технологічності може бути двох видів:

- якісна;
- кількісна.

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено на основі досвіду і допускається на усіх етапах проектування як попередня.

Кількісна оцінка технологічності виробу виражається числовими показниками і раціональна у тому випадку коли ці показники значно впливають на технологічність виробу.

Нетехнологічними слід вважати елементи, які на даному етапі або заданих умов виробництва не можуть бути оброблені з використанням наявного обладнання та інструментального забезпечення. Сучасні верстати з ЧПК практично знімають проблему технологічності конструкції виробу, оскільки їх технологічні можливості в сукупності з системою керування верстатом практично не мають обмежень на конструктивні особливості деталей машин [7].

Конструкція деталі «Корпус черв'ячного редуктора» є технологічною, окрім одного елементу. Нетехнологічним в деталі є лише отвір що утворюється під кутом до вертикальної осі, але він перпендикулярний до площини на якій створюється і є конструктивно необхідним для зливання мастила. Конструкція складається з простих поверхонь, оброблення яких не потребує використання складного спеціального різального інструменту, забезпечує вільний доступ різального та вимірювального інструменту. Достатня жорсткість деталі допускає роботу з використанням високих режимів різання. Технологічний пристрій, що реалізує теоретичну схему базування по загальним технологічним базам забезпечує тонке та надійне базування в процесі оброблення.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

2.4 Визначення виду та способу виготовлення заготовки

Важливим етапом підготовки до проектування технологічного процесу виготовлення деталей машин, який значною мірою визначає всі наступні рішення, є етап вибору виду та способу виготовлення заготовки. Вибір виду та способу виготовлення заготовки визначає величину припусків для оброблення поверхонь, особливості видалення поверхневих шарів матеріалу на етапі чорнового оброблення, величину залишкових напружень, які будуть вимагати включення в технологічний процес операцій термічного оброблення для їх зменшення та вирівнювання в поперечних перерізах робочих поверхонь.

У сучасному машинобудівному виробництві освоєні технологічні процеси виготовлення заготовок наступними способами:

- литтям;
- пластичним деформуванням;
- відділенням (відрізанням або вирізанням) від стандартного сортового прокату (листів, прутків, складних профілів, плит);
- методами порошкової металургії;
- комбінованими методами, коли окремі частини заготовки виготовляються литтям, або пластичним деформуванням, а їх з'єднання виконується зварюванням.

Разом з тим, необхідно приймати до уваги, що до теперішнього часу практичну більшість заготовок для машинобудівного виробництва виготовляються литтям або пластичним деформуванням.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ 15. Це означає, що спосіб отримання заготовки – лиття.

Важливу роль при виборі способу лиття відіграє серійність виробництва. В одиничному, малосерійному та середньо-серійному виробництвах відливки часто виготовляються литтям в піщано-глинисті форми та за моделями, що виплавляються.

Лиття за моделями, що виплавляються, дозволяє одержувати високоякісні виливки, але їх вартість у 4-5 разів перевищує вартість литва у піщані форми. Крім того, ускладнюється виготовлення виливків з внутрішніми наскрізними порожнинами.

Внаслідок своєї універсальності, відносно невеликої вартості найдоцільніше виготовляти заготовки литтям у разові піщані форми з ручним формуванням за дерев'яними моделями. Характеристики цього способу виготовлення литих заготовок наведено в табл. 1.4.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 2.4 – Характеристика способу виготовлення литої заготовки

Спосіб виготовлення заготовки	Розміри або маса		Шорсткість Rz, мкм (Ra, мкм)	Тип виробництва
	найбільші	найменші		
Лиття в землю при ручному формуванні за дерев'яними моделями	необмежені	Товщина стінки 3-8 мм	320-80 (80-20)	одиначне, малосерійне

Внутрішній ступінчастий отвір(під черв'як) та ступінчастий напівотвір(під черв'ячне колесо) формуватимуться за допомогою стержнів, які будуть з'єднуватися між собою для утворення порожнини. А порожнина між опорними поверхнями буде формуватися за допомогою болванка.

При викреслюванні вилівка урахують усі припуски на механічне оброблення разом з технологічними формувальними уклонами і радіусами переходів.

Контур заготовки наводять суцільною основною лінією, а контур вписаної в заготовку деталі – тонкою суцільною.

Для подальшої розробки технологічного процесу важливий правильний вибір площини роз'єму ливарної форми.

На Рисунок 2.4 показано площину роз'єму форми.

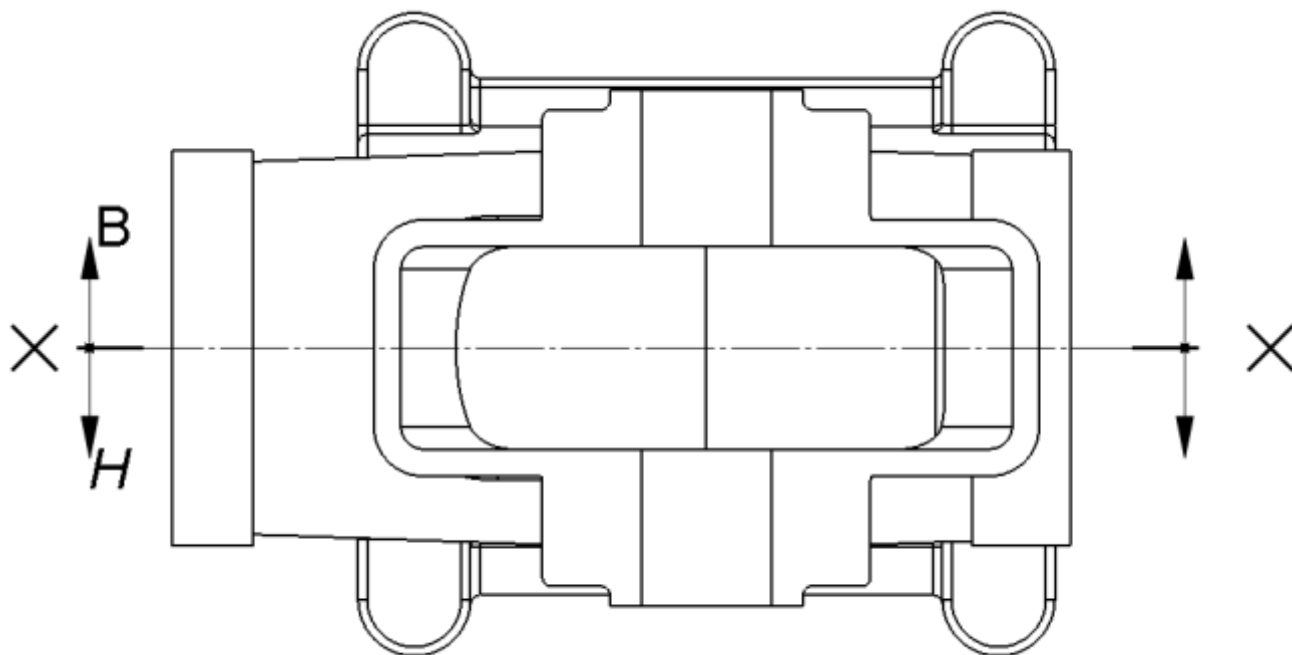


Рисунок 2.4 – Площина роз'єму форми вилівка

На рис. 2.5 показано ескіз заготовки.

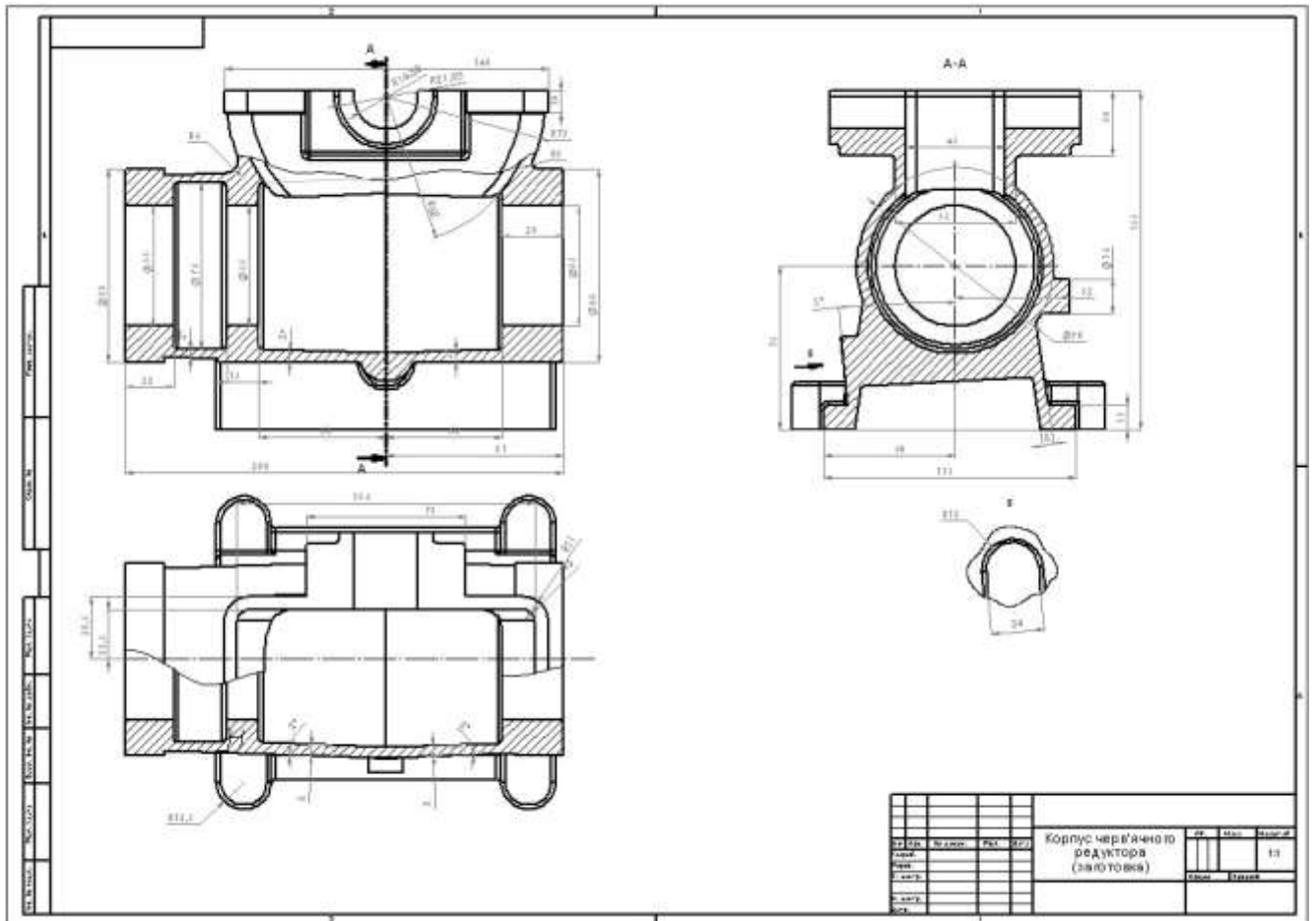


Рисунок 2.5 – Креслення заготовки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

47

2.5 Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу

Алгоритм обґрунтування вибору технологічних баз передбачає послідовне виконання таких етапів:

- обґрунтування вибору загальних технологічних баз (ЗТБ);
- обґрунтування вибору технологічних баз (ТБ) для першої операції технологічного процесу (ТП).

2.5.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз

ЗТБ є незмінний комплект баз заготовки, застосування якого для більшості технологічних операцій дає змогу виконати оброблення більшості поверхонь деталі.

Основні конструкторські бази (ОКБ) - поверхні, які визначають положення деталі в складальній одиниці або вузлі;

Допоміжні конструкторські бази (ДКБ) - поверхні, що визначають положення деталей, що приєднуються;

Кріпильні поверхні (КП) – фіксують положення деталей, що приєднуються;

Вільні поверхні (ВП) - об'єднують вказані поверхні в єдину деталь (інші поверхні).

У відповідності до загального алгоритму для визначення загальних технологічних баз необхідно виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням (Рисунок 2.5)

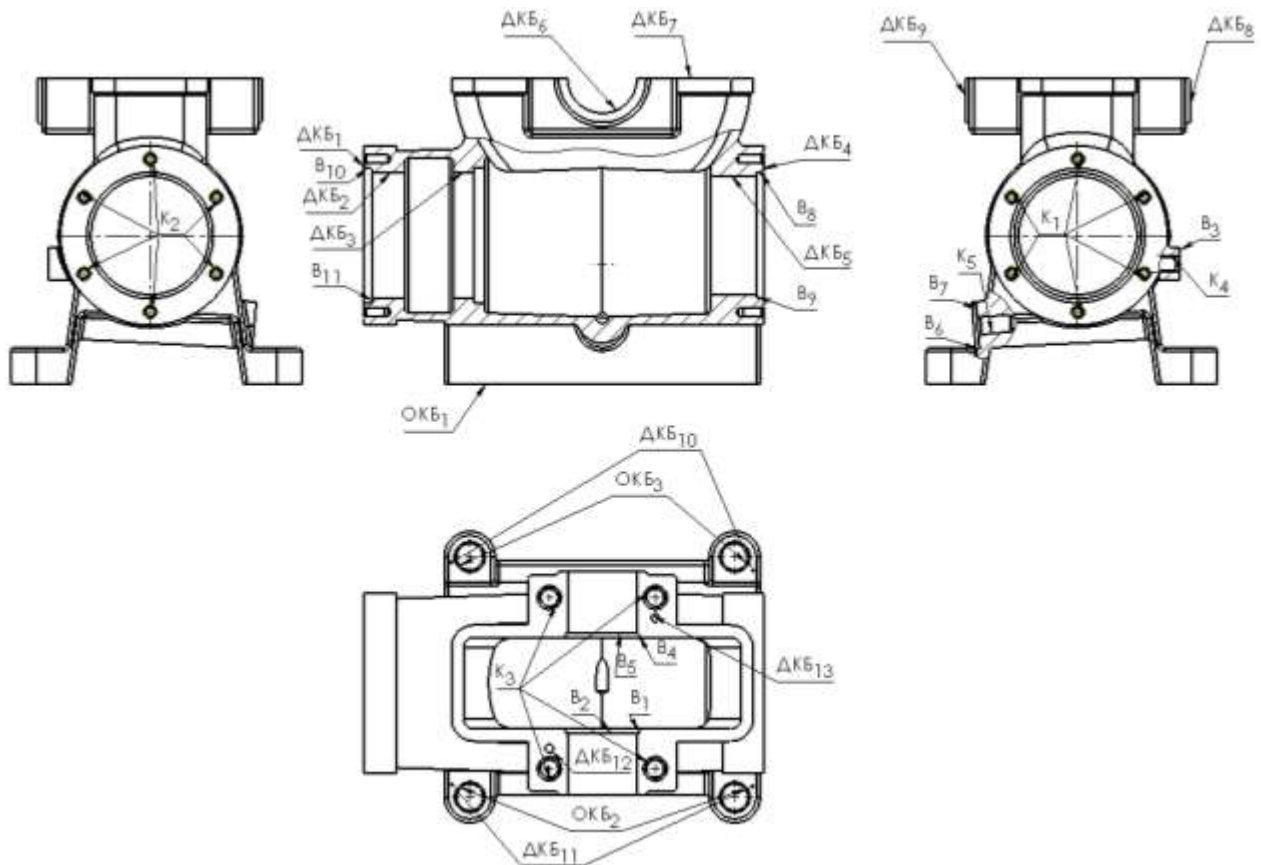


Рисунок 2.5 – Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Не позначені поверхні є вільними необроблюваними.

ОКБ деталі «Корпус черв'ячного редуктора» є площина основи ОКБ₁ та 4-и отвори під кріпильні болти ОКБ₂ та ОКБ₃.

Поверхні ОКБ можна використати в якості ЗТБ, тому користуємося твердженням, що ОКБ => ЗТБ.

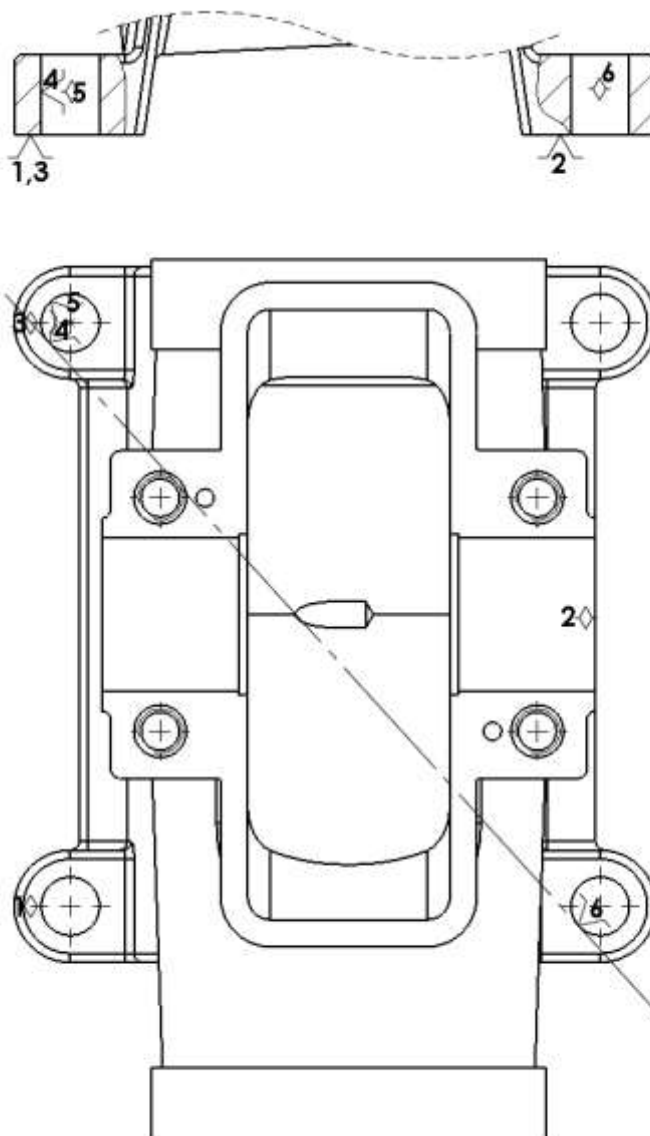


Рисунок 2.6 – Теоретична схема базування по ЗТБ

Структурна формула для даної схеми базування має вигляд:

$$СБ_{ЗТБ} = У(3)+ПО(2)+О(1) \quad (1.3)$$

Базування за такою схемою реалізується за допомогою установчих елементів для реалізації площини і позбавляє 3-х ступенів вільності, подвійна опорна база реалізується коротким циліндричним пальцем та позбавляє 2-х ступенів вільності, опорна база реалізується зрізаним пальцем і позбавляє одного ступеню вільності.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Дана схема базування по ЗТБ є класичною для деталей типу «Корпус», адже вони зазвичай мають площину на яку встановлюються та перпендикулярні до неї отвори, які є кріпильними.

Переваги представленої схеми:

- простота реалізації такої схеми;
- переважна більшість поверхонь є відкритими для оброблення;
- ОКБ співпадають з вимірювальними базами на кресленні, тому втрати по точності будуть мінімальними.

До недоліків слід віднести недостатню точність отворів.

Отже, обираємо дану схему базування по ЗТБ.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2.5.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій

На другому етапі вибору ТБ необхідно визначити схему базування для першої технологічної операції. Загальною вимогою до всіх можливих схем базування є забезпечення оброблення комплекту поверхонь ЗТБ. Вихідним документом для вибору ТБ для першої операції є кресленик заготовки.

З урахуванням узагальнених завдань проектування технологічних процесів, практичного досвіду виробництва та за результатами наукових досліджень процесів оброблення різанням розроблено такий алгоритм вибору технологічних баз для перших операцій технологічного процесу:

- *в якості технологічних баз необхідно приймати необробні поверхні заготовки. Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати після оброблення правильне розташування необробних поверхонь заготовки відносно обробних;*
- *якщо всі поверхні заготовки за креслеником деталі є обробними, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні, які мають найменший припуск. Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати усунення можливості виникнення браку при подальшому обробленні таких поверхонь;*
- *якщо відсутні поверхні з мінімальним припуском, а його величина є достатньо рівномірною, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, на яких виникнення браку не допускається;*
- *в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, для яких необхідно забезпечити рівномірний припуск для наступних етапів оброблення;*
- *якщо є декілька можливих конкурентних схем базування по технологічним базам, то в якості технологічних баз, необхідно приймати варіант базування в якому обробна поверхня зв'язана з базовою поверхнею найкоротшими розмірними ланцюгами.*

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

На цьому етапі слід обробити ЗТБ, тож слід обрати ТБ.

Координатний кут (3 взаємно перпендикулярні площини)

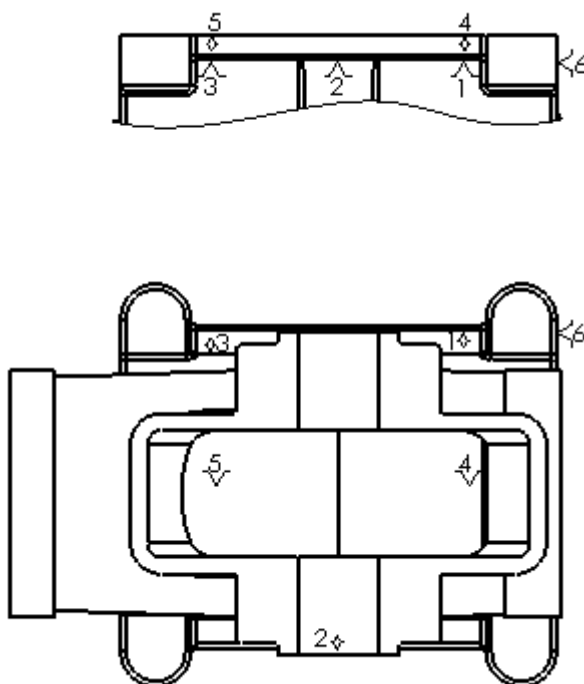


Рисунок 2.7 – Теоретична схема базування

Структурна формула для даної схеми базування має вигляд:

$$СБ_{ТБ} = У(3)+Н(2)+О(1) \quad (1.4)$$

Схема реалізується за допомогою встановлення на установчі елементи для реалізації 3-х взаємоперпендикулярних площин: установчої(У(3)), напрямної(Н(2)) і опорної(О(1)). Для забезпечення точності базування необхідно обробити два отвори до 7-о квалітету.

Переваги схеми базування:

- Простота конструктивної реалізації;
- Використання вертикального обробляючого центру;
- Правильність розташування оброблених поверхонь відносно необроблених.

Недоліками ж є:

- Заготовка закрита з усіх сторін для оброблення;

Отже, обираємо цю схему базування, оскільки така схема базування дає можливість точно обробити поверхні ЗТБ, дозволяє отримати правильне взаємне розташування поверхонь. Для виконання такого оброблення потрібен вертикально-фрезерний верстат

2.6 Проектування типових послідовностей оброблення поверхонь заготовки

Вибір типових послідовностей оброблення поверхонь здійснюється згідно з рекомендаціями[8].

Таблиця 2.5 – Типові послідовності оброблення поверхонь

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення	Характеристики якості оброблення поверхні після оброблення	
	Точність розмірів ІТ	Параметр шорсткості R_a , мкм		5	6
1	2	3	4	5	6
ОКБ1	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ОКБ2, ОКБ3	10/7	2,5	Центрування	-	-
			Свердління	12	10,0
			Зенкерування	10	5,0
			Розвертання попереднє	9	2,5
			Розвертання завершальне	7	1,25
ДКБ1	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6

1	2	3	4	5	6
ДКБ2	7	1,25	Зенкерування одноразове	12	10
			Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25
ДКБ3	7	1,25	Зенкерування одноразове	12	10
			Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25
ДКБ4	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ5	7	1,25	Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

54

1	2	3	4	5	6
ДКБ6	7	1,25	Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25
ДКБ7	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ8 ДКБ9	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ10 ДКБ11	14	3,2	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
ДКБ12 ДКБ13	7	1,25	Свердління	12	10
			Зенкерування	10	5
			Розвертання попереднє	9	2,5
			Розвертання чистове	7	1,25

1	2	3	4	5	6
К1, К2	12	5	Центрування	-	-
			Свердління	12	10,0
			Зенкерування	10	5,0
			Зенкування фаски	6H	5,0
			Нарізання різі		
К4	12	5	Центрування	-	-
			Свердління	12	10,0
			Зенкерування	10	5,0
			Зенкування фаски	6H	5,0
			Нарізання різі		
К3, К5	12	5	Центрування	-	-
			Свердління	12	10,0
			Зенкерування	10	5,0
			Зенкування фаски	6H	5,0
			Нарізання різі		

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

56

2.7 Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі

Оскільки деталь відноситься до класу корпусних деталей, то типовий технологічний процес складається з таких етапів:

- обробка значної за розмірами площини, яка служить у подальшому чистовою установочною базою;
- чорнова й чистова обробки значних за розмірами площин фрезеруванням;
- чорнове та чистове розточування (свердління, зенкерування) основних отворів корпусної деталі;
- фрезерування невеликих другорядних площин головним чином за один перехід;
- свердління, нарізання різьби, зенкерування, розвертання неглибоких отворів з різних боків заготовки;
- доведення до кінцевих розмірів основних точних отворів;
- для отримання заданої перпендикулярності торців деталі до осей точних основних отворів виконується остаточна обробка цих торців чистовим фрезеруванням.

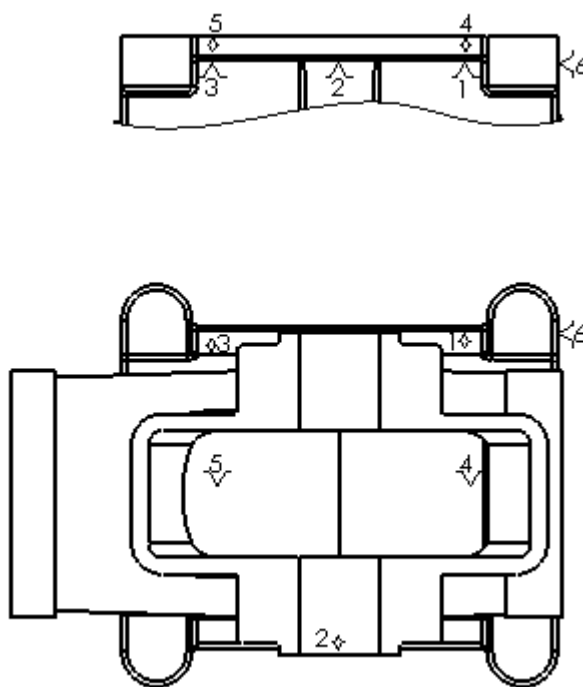


Рисунок 2.13 – Установче положення для операції 005.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

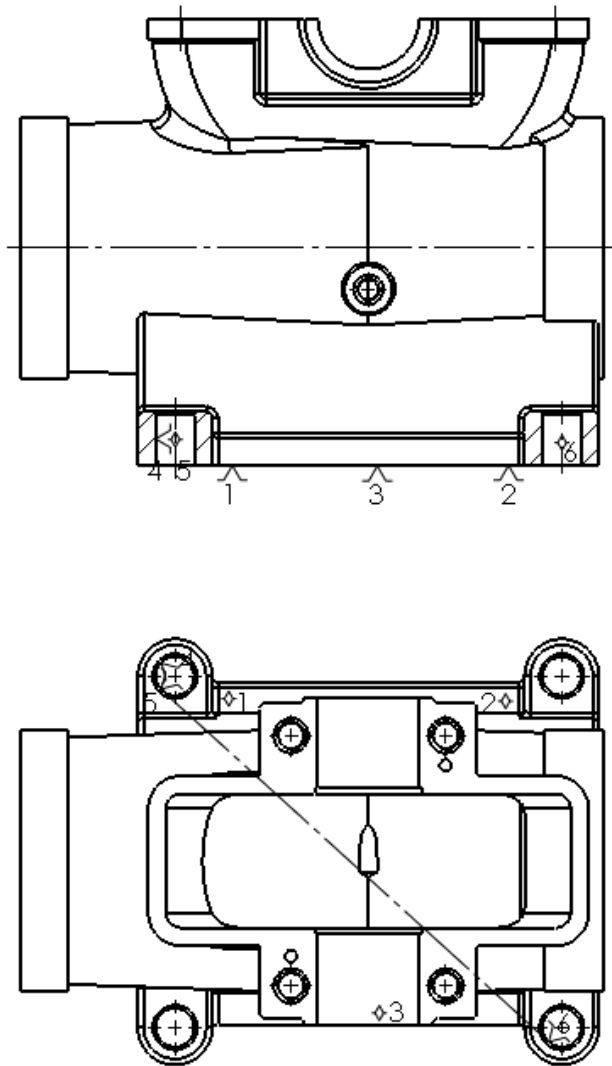


Рисунок 2.15 – Установче положення для операції 010.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

59

20. Нарізати різь в отвір К5, витримуючи розміри 28, 29, 23, 14.
21. Повернути стіл навколо осі Х на 5 градусів за годинниковою стрілкою.
22. Повернути навколо осі Y на 90 градусів проти годинникової стрілки.
23. Фрезерувати напівчисто поверхню ДКБ1, витримуючи розміри 1'.
24. Фрезерувати начисто поверхню ДКБ1, витримуючи розміри 1.
25. Фрезерувати одноразово поверхні В10 і В11, витримуючи розміри 2.
26. Розточити начорно отвори ДКБ2 і ДКБ3, витримуючи розміри 2", 3", 4".
27. Свердлити 6-ь отворів К1, витримуючи розміри 5', 6', 7"', 8"'.
28. Зенкерувати 6-ь отворів К1, витримуючи розміри 5, 6, 7", 8".
29. Зенкувати фаски в отворах К1, витримуючи розміри 9, 7', 8'.
30. Нарізати різь в 6-и отворах К1, витримуючи розміри 10, 11, 7, 8.
31. Розточити напівчисто отвори ДКБ2 і ДКБ3, витримуючи розміри 2', 3', 4'.
32. Розточити начисто отвори ДКБ2 і ДКБ3, витримуючи розміри 2, 3, 4.
33. Зенкувати фаски отворів ДКБ2 та В10, витримуючи розміри 9, 7', 8'.
34. Повернути навколо осі Y на 180 градусів.
35. Фрезерувати начорно площину ДКБ4, витримуючи розміри 45".
36. Фрезерувати напівчисто площину ДКБ4, витримуючи розміри 45'.
37. Фрезерувати одноразово поверхні В8 і В9, витримуючи розміри 2.
38. Розточити начорно отвір ДКБ5, витримуючи розміри 46".
39. Свердлити 6-ь отворів К2, витримуючи розміри 49', 50', 51"', 52"'.
40. Зенкерувати 6-ь отворів К2, витримуючи розміри 49, 50, 51", 52".
41. Зенкувати фаски в отворах К2, витримуючи розміри 53, 51', 52'.
42. Нарізати різь в 6-и отворах К2, витримуючи розміри 54, 55, 51, 52.
43. Розточити напівчисто отвір ДКБ5, витримуючи розміри 46'.
44. Розточити начисто отвір ДКБ5, витримуючи розміри 46.
45. Зенкувати фаски отворів ДКБ5 та В8, витримуючи розміри 9, 7', 8'.
46. Повернути навколо осі Х на 90 градусів за годинниковою стрілкою.
47. Фрезерувати напівчисто площину ДКБ7, витримуючи розміри 6.
48. Фрезерувати начисто площину ДКБ7, витримуючи розміри 6.
49. Свердлити 4-и отвори К3, витримуючи розміри 30', 31', 32"', 33"', 34"', 35"'.
50. Зенкерувати 4-и отвори К3, витримуючи розміри 30, 31, 32"', 33", 34", 35"'.
51. Зенкувати фаски отворів К3, витримуючи розміри 36, 32"', 33', 34', 35"'.
52. Нарізати різь в 4-х отворах К3, витримуючи розміри 37, 38, 32"', 33, 34, 35"'.
53. Свердлити два отвори ДКБ12 та ДКБ13, витримуючи розміри 39"', 40"', 32"', 42"', 43"', 35"'.
54. Зенкерувати отвори ДКБ12 та ДКБ13, витримуючи розміри 39", 40", 32", 42", 43", 35".
55. Виконати попереднє розвертання двох отворів ДКБ12 та ДКБ13, витримуючи розміри 39', 40', 32', 42', 43', 35'.
56. Виконати чистове розвертання двох отворів ДКБ12 та ДКБ13, витримуючи розміри 39, 40, 32, 42, 43, 35.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Б. Встановити прокладку

В. встановити кришку (шифр), закріпити, зняти разом

57. Повернути навколо осі Х на 90 градусів проти годинникової стрілки.
58. Повернути навколо осі Y на 90 градусів за годинниковою стрілкою.
59. Фрезерувати начорно площину ДКБ8, витримуючи розміри 7".
60. Повернути навколо осі Y на 180 градусів.
61. Фрезерувати начорно площину ДКБ9, витримуючи розміри 7".
62. Повернути навколо осі Y на 180 градусів.
63. Фрезерувати напівчисто площину ДКБ8, витримуючи розміри 7".
64. Фрезерувати начисто площину ДКБ8, витримуючи розміри 7".
65. Повернути навколо осі Y на 180 градусів.
66. Фрезерувати напівчисто площину ДКБ9, витримуючи розміри 7".
67. Фрезерувати начисто площину ДКБ9, витримуючи розміри 7".
68. Розточити начорно отвір ДКБ6, витримуючи розміри 47".
69. Розточити напівчисто отвір ДКБ6, витримуючи розміри 47'.
70. Розточити начисто отвір ДКБ6, витримуючи розміри 47.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

2.8 Короткий опис вибору верстатного обладнання

Для обробки деталі “Корпус черв’ячного редуктора” обирається багатоцільовий верстат з ЧПК HAAS VF-3. Також для зменшення кількості установів необхідно додатково використати стіл з можливістю обертання навколо горизонтально та вертикальної осей.

Багатоцільовими називають верстати з ЧПК, які забезпечують комплексну обробку складних за конструкцією деталей з різних сторін без їхнього перебазування, і як правило, маючи пристрої автоматичної зміни інструментів (АЗІ).

На даному верстаті можна виконувати чорнову та чистову обробку корпусних деталей, можна здійснювати фрезерування площин, уступів, канавок, вікон; свердління; зенкерування; розвертання та розточування отворів, у тому числі ступінчастих; нарізання різьб мітчиками і т. д.

Для виконання великої кількості технологічних переходів різноманітними інструментами багатоцільові верстати у порівнянні зі звичайними верстатами з ЧПК мають ряд конструктивних особливостей. Так, для виконання різних технологічних переходів верстати повинні мати великий запас різальних інструментів і для цього їх оснащують інструментальними магазинами, у яких розміщуються 15...30, а при необхідності 50...100 і більше інструментів.

Технічні характеристики багатоцільового верстата з ЧПК HAAS VF-3 подано в табл. 1.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики багатоцільового верстата з ЧПК HAAS VF-3

ПЕРЕМІЩЕННЯ ПО ОСЯХ	ЗНАЧЕННЯ
Вісь X	1016 мм
Вісь Y	508 мм
Вісь Z	635 мм
Від торця шпинделя до поверхні столу (~ max.)	742 мм
Від торця шпинделя до поверхні столу (~ min.)	107 мм
СТІЛ	ЗНАЧЕННЯ
Довжина	1219 мм
Ширина	457 мм
Ширина T-подібних пазів	16 мм
Відстань між центрами T-подібних	80,0 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

63

пазів	
Кількість стандартних T-пазів	5
Максимальна маса на столі (рівномірно розподілена)	1588 кг
ШПИНДЕЛЬ	ЗНАЧЕННЯ
Макс. потужність	22,4 кВт
Макс. швидкість	8100 об/хв
Макс. крутний момент	122 Н·м @ 2000 об/хв
Система приводу	Inline Direct-Drive
Макс. крутний момент з редуктором (опціонально)	339 Н·м @ 450 об/хв
Конус	СТ чи ВТ 40
Змазування підшипників	Air/Oil Injection
Охолодження	Liquid Cooled
ШВИДКІСТЬ ПОДАЧІ	ЗНАЧЕННЯ
Прискорені переміщення по X	25,4 м/хв
Прискорені переміщення по Y	25,4 м/хв
Прискорені переміщення по Z	25,4 м/хв
Макс. швидкість подачі при різанні	16,5 м/хв
ДВИГУНИ ПРИВОДУ РУХУ ПО ОСЯХ	ЗНАЧЕННЯ
Макс. навантаження по X	11343Н
Макс. навантаження по Y	11343 Н
Макс. навантаження по Z	18683 Н

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

64

ОБЛАДНАННЯ ЗМІНИ ІНСТРУМЕНТА	ЗНАЧЕННЯ
Стандартний тип обл. зміни інструмента (опція)	Carousel (SMTC Optional)
Макс. діаметр інструмента (повний)	89 мм
Макс. маса інструмента	5,4 кг
Швидкість зміни інструменту	4,2 с
ЗАГАЛЬНІ ДАНІ	ЗНАЧЕННЯ
Втрати повітря	113 л/хв, 6,9 бар
Мінімальний тиск повітря	5,5 бар
Ємність ЗОР	208 л

Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-3 зображено на Рисунок 2.17.



Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд вертикально-фрезерного верстата з ЧПК HAAS VF-3

Для можливості оброблення з меншою кількістю переустановів, що допоможе значно зменшити час на обробку деталі та підвищить точність

взаємного розташування поверхонь деталі використовуємо двохосьовий поворотний стіл HAAS TRT210, вигляд столу зображено на Рисунок 2.18.



Рисунок 2.18 – Зовнішній вигляд двохосьового поворотного столу HAAS TRT210

Габаритні розміри поворотного столу 618x789x449 мм.

Максимальний діаметр деталі, яку можна розмістити на столі становить 304 мм,

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9 Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки

2.9.1 Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом (для двох відмінних поверхонь)

Розрахунок припусків на отвір ДКБ2 Ø62Н7 Ra1,25

Розрахункова формула:

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$$

де Rz_{i-1} – середня висота мікронерівностей, отриманих на попередньому переході чи операції;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, отриманого на попередньому переході чи операції та яку необхідно видалити на виконуваному переході;

ε_i – векторна сума похибок базування та закріплення, які виникають на виконуваному переході;

Δ_{i-1} – векторна сума просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь заготовки, яка отримана на попередньому переході чи операції.

Визначаються елементи припуску. Середня висота мікронерівностей $R_z = 200$ мкм, глибина дефектного поверхневого шару $h = 400$ мкм [6].

Отже, сумарне значення R_z та h , які характеризують якість литих заготовок, складає 600 мкм.

Сумарне значення просторових відхилень для отворів визначається за формулою:

$$\Delta_{\text{заг}} = \sqrt{\Delta_{\text{зігн}}^2 + \Delta_{\text{екс}}^2}$$

Похибка ексцентричності литих заготовок $\Delta_{\text{екс}} = 1,8$ мм; похибка зігнутої литих заготовок $\Delta_{\text{зігн}} = 1,4$ мм.

$$\Delta_{\text{заг}} = \sqrt{1,4^2 + 1,8^2} = 2,3 \text{ мм} = 2300 \text{ мкм}$$

Остаточна величина сумарної похибки відхилення після зенкерування складає $\Delta_{\text{зенк}} = 0,2 \cdot \Delta_{\text{заг}} = 0,2 \cdot 2300 = 460$ мкм; після чорного розточування $\Delta_{\text{чорн}} = 0,18 \cdot \Delta_{\text{заг}} = 0,18 \cdot 2300 = 415$ мкм; після напівчистого розточування $\Delta_{\text{напівчист}} = 0,15 \cdot \Delta_{\text{заг}} = 0,15 \cdot 2300 = 345$ мкм; після чистого розточування $\Delta_{\text{чист}} = 0,1 \cdot \Delta_{\text{заг}} = 0,1 \cdot 2300 = 230$ мкм.

Похибка установки заготовки ε вважається рівна нулеві, оскільки вимірювальні бази співпадають з технологічними.

Визначаються розрахункові мінімальні припуски для кожного переходу:

$$2Z_{\text{зенкер} \min} = 2 \left((R_z + h)_{\text{заг}} + \sqrt{\Delta_{\text{заг}}^2 + \varepsilon_{y \text{зенкер}}^2} \right) = 2(600 + 2300) = 5800 \text{ мкм}$$

$$\begin{aligned} 2Z_{\text{чорн} \min} &= 2 \left((R_z + h)_{\text{зенкер}} + \sqrt{\Delta_{\text{зенкер}}^2 + \varepsilon_{y \text{чорн}}^2} \right) = 2((50 + 50) + 460) \\ &= 1120 \text{ мкм} \end{aligned}$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$2Z_{\text{напівчист } \min} = 2 \left((R_z + h)_{\text{чорн}} + \sqrt{\Delta_{\text{чорн}}^2 + \varepsilon_{\text{у напівчист}}^2} \right) = 2((40 + 45) + 415) \\ = 1020 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\text{чист } \min} = 2 \left((R_z + h)_{\text{напівчист}} + \sqrt{\Delta_{\text{напівчист}}^2 + \varepsilon_{\text{у чист}}^2} \right) = 2((30 + 35) + 345) \\ = 820 \text{ мкм}$$

Визначаються розрахункові припуски для кожного переходу.

$$d_{\text{р чист}} = d_{\text{чист } \max} = 62,03 \text{ мм}$$

$$d_{\text{р напівчист}} = d_{\text{р чист}} - 2Z_{\text{чист } \min} = 62,030 - 0,820 = 61,21 \text{ мм}$$

$$d_{\text{р чорн}} = d_{\text{р напівчист}} - 2Z_{\text{напівчист } \min} = 61,21 - 1,020 = 60,19 \text{ мм}$$

$$d_{\text{р зенкер}} = d_{\text{р чорн}} - 2Z_{\text{чорн } \min} = 60,19 - 1,12 = 59,07 \text{ мм}$$

$$d_{\text{р заг}} = d_{\text{р зенкер}} - 2Z_{\text{зенкер } \min} = 59,07 - 5,8 = 53,27 \text{ мм}$$

Визначаються допуски для кожного переходу за ГОСТ 25346-89.

$$T_{\text{заг}} = 740 \text{ мкм (IT14)}$$

$$T_{\text{зенкер}} = 190 \text{ мкм (IT11)}$$

$$T_{\text{чорн}} = 120 \text{ мкм (IT10)}$$

$$T_{\text{напівчист}} = 54 \text{ мкм (IT8)}$$

$$T_{\text{чист}} = 30 \text{ мкм (IT7)}$$

Визначаються граничні розміри для кожного переходу.

$$d_{\text{чист } \max} = d_{\text{дет } \max} = 62,03 \text{ мм}$$

$$\text{Приймається } d_{\text{р напівчист}} = 61,21 \text{ мм}$$

$$\text{Приймається } d_{\text{р чорн}} = 60,19 \text{ мм}$$

$$\text{Приймається } d_{\text{р зенкер}} = 59,07 \text{ мм}$$

$$\text{Приймається } d_{\text{р заг}} = 53,27 \text{ мм}$$

$$d_{\text{чист } \min} = d_{\text{дет } \min} = 62 \text{ мм}$$

$$d_{\text{напівчист } \min} = d_{\text{напівчист } \max} - T_{\text{напівчист}} = 61,21 - 0,054 = 61,156 \text{ мм}$$

$$d_{\text{чорн } \min} = d_{\text{чорн } \max} - T_{\text{чорн}} = 60,19 - 0,120 = 60,07 \text{ мм}$$

$$d_{\text{зенкер } \min} = d_{\text{зенкер } \max} - T_{\text{зенкер}} = 59,07 - 0,19 = 58,88 \text{ мм}$$

$$d_{\text{заг } \min} = d_{\text{заг } \max} - T_{\text{заг}} = 53,27 - 0,74 = 52,53 \text{ мм}$$

Визначаються граничні значення припусків для кожного переходу.

$$2Z_{\text{чист } \min} = d_{\text{чист } \max} - d_{\text{напівчист } \max} = 62,03 - 61,21 = 0,82 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{напівчист } \min} = d_{\text{напівчист } \max} - d_{\text{чорн } \max} = 61,21 - 60,19 = 1,02 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{чорн } \min} = d_{\text{чорн } \max} - d_{\text{зенкер } \max} = 60,19 - 59,07 = 1,12 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{зенкер } \min} = d_{\text{зенкер } \max} - d_{\text{заг } \max} = 59,07 - 53,27 = 5,8 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{чист } \max} = d_{\text{чист } \min} - d_{\text{напівчист } \min} = 62,0 - 61,156 = 0,844 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{напівчист } \max} = d_{\text{напівчист } \min} - d_{\text{чорн } \min} = 61,156 - 60,07 = 1,086 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{чорн } \max} = d_{\text{чорн } \min} - d_{\text{зенкер } \min} = 60,07 - 58,88 = 1,19 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{зенкер } \max} = d_{\text{зенкер } \min} - d_{\text{заг } \min} = 58,88 - 52,53 = 6,35 \text{ мм}$$

Усі розраховані значення зводяться до таблиці 1.8.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Таблиця 2.8 Припуски на механічну обробку отвору

Технологічні переходи при обробленні внутрішньої циліндричної поверхні Ø62H7	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_i$, мк	Розрахунковий розмір D_p , мкм	Допуск T_i , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мм	
	R_z	h	Δ_Σ	ε_y				$D_{i \min}$	$D_{i \max}$	$2Z_{i \min}$	$2Z_{i \max}$
Заготовка (лиття)	600		2300	-	-	53,27	740	52,53	53,27	-	-
Зенкерування	50	50	460	0	5800	59,07	190	58,88	59,07	5,8	6,35
Чорнове розточування	40	45	414	0	1120	60,19	120	60,07	60,19	1,12	1,19
Напівчистове розточування	30	35	345	0	1020	61,21	54	61,156	61,21	1,02	1,086
Чистове розвертання	20	25	230	0	820	62,03	30	62	62,03	0,82	0,844
									Z_3	8,76	9,47

Робимо перевірку:

$$T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} = 740 - 30 = 710 \text{ мкм}$$

$$2Z_{3 \max} - 2Z_{3 \min} = 9470 - 8760 = 710 \text{ мкм}$$

Отже, розрахунки вірні.

Розрахунок припусків на плоску поверхню ОКБ1

Розрахункова формула для визначення припуску на оброблення:

$$Z_{i \min} = R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \varepsilon_i + \Delta_{\Sigma-1},$$

де $R_{z_{i-1}}$ – середня висота мікронерівностей, отриманих на попередньому переході чи операції;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару, отриманого на попередньому чи операції та яку необхідно видалити на виконуваному переході;

ε_i – векторна сума похибок базування та закріплення, які виникають на виконуваному переході;

$\Delta_{\Sigma-1}$ – векторна сума просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь заготовки, яка отримана на попередньому переході чи операції.

Значення $R_{z_{i-1}}, h_{i-1}, \Delta_{\Sigma-1}$ беруться з таблиць, ε_i визначається після розроблення технологічного маршруту.

Заготовка отримується методом лиття – $R_{z_0} = 320 \dots 80$ мкм. Приймається $R_{z_0} = 200$ мкм. Глибина дефектного поверхневого шару після лиття $h_0 = 200 \dots 600$ мкм. Приймається $h_0 = 400$ мкм. Векторна сума просторових відхилень поверхні заготовки $\Delta_{\Sigma_0} = 1000$ мкм. Похибка базування рівна нулю, оскільки вимірювальна та технологічні бази збігаються. Отже, $\varepsilon_1 = 0$.

Мінімальний припуск на одноразове оброблення площини

$$z_{1 \min} = 200 + 400 + 1000 = 1600 \text{ мкм}$$

Призначаємо припуск $z_1 = 2$ мм.

Припуск на чистове фрезерування $z_1 = 0,2$ мм. Припуск для напівчистового фрезерування $z_2 = 0,5$ мм. Припуск на попереднє фрезерування буде становити $z_3 = 1,3$ мм.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

2.9.2 Визначення припусків аналоговими методами

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення	Характеристики якості оброблення поверхні після оброблення	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості R_a , мкм			
1	2	3	4	5	6
ОКБ1	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ОКБ2, ОКБ3	10/7	2,5	Центрування	-	-
			Свердління	12	10,0
			Зенкерування	10	5,0
			Розвертання попереднє	9	2,5
			Розвертання завершальне	7	1,25
ДКБ1	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ2	7	1,25	Зенкерування одноразове	12	10
			Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25

ДКБ3	7	1,25	Зенкерування одноразове	12	10
			Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25

1	2	3	4	5	6
ДКБ4	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ5	7	1,25	Зенкерування одноразове	12	10
			Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25
ДКБ6	7	1,25	Фрезерування	12	10
			Розточування чорнове	10	5
			Розточування напівчистове	9	2,5
			Розточування чистове	7	1,25
ДКБ7	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування		

			напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ8 ДКБ9	14	1,6	Фрезерування чорнове	14	6,3
			Фрезерування напівчистове	12	3,2
			Фрезерування чистове	10	1,6
ДКБ10 ДКБ11	14	3,2	Фрезерування одноразове	12	3,2
ДКБ12 ДКБ13	7	1,25	Свердління	12	10
			Зенкерування	10	5
			Розвертання попереднє	9	2,5
			Розвертання чистове	7	1,25

1	2	3	4	5	6
К1, К2	12	5	Центрування Свердління Зенкерування Зенкування фаски Нарізання різі	- 12 10 6Н	- 10,0 5,0 5,0
К4	12	5	Центрування Свердління Зенкерування Зенкування фаски Нарізання різі	- 12 10 6Н	- 10,0 5,0 5,0
К3, К5	12	5	Центрування Свердління	- 12	- 10,0

			Зенкерування	10	5,0
			Зенкування фаски		
			Нарізання різі	6H	5,0

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

2.10 Визначення режимів різання

2.10.1 Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом (для двох технологічних переходів)

Визначення режимів різання для розточування отвору Ø62H7

Вихідні дані:

- оброблюваний матеріал – сірий чавун СЧ30;
- обладнання – вертикально-оброблюючий центр з ЧПК HAAS VF-3;
- інструмент – розточувальний різець зі змінною багатогранною пластиною з твердого сплаву ($\varphi = 93^\circ$; $\varphi_1 = 27^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 1$) [14];
- глибина різання приймається рівною припуску на сторону $h = 0,6$ мм;
- за глибиною різання та типом оброблення із довідкових матеріалів обирається подача $S = 0,2$ мм/об.

Відповідно до умов оброблення, швидкість різання, яка допускається характеристиками різального інструмента для токарного оброблення та прийнятого періоду стійкості інструмента, визначається за формулою:

$$[V]_i = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot h^x \cdot S^y}$$

де C_v – коефіцієнт пропорційності, який враховує вплив всіх факторів процесу оброблення за винятком глибини різання, подачі та періоду стійкості інструмента, а саме: фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу, фізико-механічних характеристик інструментального матеріалу, геометричних параметрів різальної частини інструмента; наявності ЗМОТС при обробленні для стандартних умов проведення досліджень при встановленні його чисельного значення, $C_v = 292$ [14];

K_v – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив всіх наведених параметрів для конкретних умов оброблення, $K_v = 0,32$;

T – період стійкості різального інструмента, $T = 50$ хв;

h – глибина різання, $h = 1$ мм;

S – подача інструмента, $S = 0,3$ мм/об.;

x, y – показники степеню, що виражають вплив глибини різання та подачі відповідно на допустиму швидкість різання, $x = 0,15$; $y = 0,2$;

m – показник відносної стійкості, $m = 0,2$ [14].

Поправочний коефіцієнт K_v дорівнює $K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi_{1v}} \cdot K_{rv}$, де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки (для сірого чавуну $K_{mv} = 0,6$); K_{nv} – коефіцієнт, що враховує характер поверхні заготовки (для заготовок з сірого чавуну $K_{nv} = 0,8$); K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента ($K_{uv} = 1,1$); $K_{\varphi v}$ – коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані φ ($K_{\varphi v} = 0,7$); $K_{\varphi_{1v}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив допоміжного кута в плані φ_1 ($K_{\varphi_{1v}} = 0,92$); K_{rv} – коефіцієнт, що враховує вплив радіуса вершини різця ($K_{rv} = 0,94$) [14].

$$K_v = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 0,7 \cdot 0,92 \cdot 0,94 = 0,32$$

Тоді

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$[V]_i = \frac{292 \cdot 0,53}{50^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} = 90 \text{ м/хв}$$

Визначається розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot [V]_i}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 90}{\pi \cdot 62} = 462 \text{ об./хв.}$$

Приймається $n = 500$ об./хв.

Уточнюємо дійсну швидкість різання $V = \pi \cdot D \cdot n / 1000 = 97$ м/хв.

Визначається час оброблення:

$$T_o = \frac{L}{S_{\text{хв}}} = \frac{l_{\text{х.і.}} + l_{\text{вріз.}} + l_{\text{перебігу}}}{S \cdot n} = \frac{20}{0,3 \cdot 500} = \frac{20}{150} = 0,13 \text{ хв.}$$

Визначається головна складова сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot h^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

де C_p – коефіцієнт, що враховує умови оброблення, $C_p = 92$ (при розточуванні сірого чавуну) [14];

x, y, n – показники степенів, що виражають вплив глибини різання, подачі та швидкості різання відповідно на головну складову сили різання, $x = 1, y = 0,75, n = 0$ [14];

K_p – поправочний коефіцієнт, який враховує відмінність заданих конкретних умов оброблення від стандартних умов, які були використані при проведенні досліджень для встановлення довідникових даних.

$$K_p = K_{\text{мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{лр}} \cdot K_{\text{рр}},$$

де $K_{\text{мр}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки (для сірого чавуну $K_{\text{мр}} = 0,5$); $K_{\text{фр}}, K_{\text{гр}}, K_{\text{лр}}, K_{\text{рр}}$ – коефіцієнти, що враховують геометричні параметри різальної частини: $K_{\text{фр}} = 0,89$; $K_{\text{гр}} = 1$; $K_{\text{лр}} = 1$; $K_{\text{рр}} = 0,94$ [14].

$$K_p = 0,5 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 = 0,42$$

Тоді

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 1^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 97^0 \cdot 0,42 = 157 \text{ Н}$$

Потужність різання визначається за наступною формулою:

$$N = P_z \cdot V / (1020 \cdot 60) = 0,25 \text{ кВт}$$

Результати заносяться до таблиці 1.10.

Таблиця 2.10 – Режими різання для оброблення отвору ДКБ5.

h , мм	S , мм/об.	$S_{\text{хв}}$, мм/хв	V , м/хв	n , об./хв.	T_o , хв	P_z , Н	N , кВт
1	0,3	150	97	500	0,13	157	0,25

Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом для фрезерування поверхні ОКБ1

Вихідні дані:

- оброблюваний матеріал – сірий чавун СЧ30;
 - обладнання – вертикально-обробляючий центр з ЧПК HAAS VF3;
 - інструмент – фреза насадна зі змінними багатограними пластинами з твердого сплаву ($\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 30^\circ$; $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = 16^\circ$; $r = 0,2$).
- Діаметр фрези $D = 40$ мм, кількість зубів фрези $Z = 5$. Ширина

								Арку
								75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ			

фрезерування $B = 33$ мм. Враховуючи траєкторію руху інструмента, довжина ходу інструмента становитиме $l_{x.i.} = 430$ мм.

- глибина різання приймається рівною припуску $h = 1,3$ мм;

Попередньо визначається подача на зуб $S_z = 0,2$ мм/зуб.

Подача на оберт $S_o = S_z \cdot Z = 0,2 \cdot 5 = 1$ мм/об.

Відповідно до умов оброблення, швидкість різання, яка допускається характеристиками різального інструмента для фрезерування та прийнятого періоду стійкості інструмента, визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot h^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v,$$

де C_v – коефіцієнт пропорційності, який враховує вплив всіх факторів процесу оброблення, $C_v = 445$;

K_v – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив всіх наведених параметрів для конкретних умов оброблення, $K_v = 0,53$ [14];

T – період стійкості різального інструмента, $T = 120$ хв;

h – глибина різання, $h = 1,3$ мм;

S_z – подача інструмента на зуб, $S = 0,2$ мм/зуб;

B – ширина фрезерування, $B = 33$ мм;

Z – кількість зубів, $Z = 5$;

x, y, q, u, p – показники степеню, що виражають вплив глибини різання, подачі, діаметра фрези, ширини фрезерування, кількості зубів фрези відповідно на допустиму швидкість різання, $x = 0,15$; $y = 0,35$; $q = 0,2$; $u = 0,2$; $p = 0$

m – показник відносної стійкості, $m = 0,32$ [14].

Поправочний коефіцієнт K_v дорівнює $K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$, де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки (для сірого чавуну $K_{mv} = 0,6$); K_{nv} – коефіцієнт, що враховує характер поверхні заготовки (для заготовок з сірого чавуну $K_{nv} = 0,8$); K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента ($K_{uv} = 1,1$) [14].

$$K_v = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 0,53$$

Тоді

$$V = \frac{445 \cdot 40^{0,2}}{120^{0,32} \cdot 1,3^{0,15} \cdot 0,2^{0,35} \cdot 33^{0,2} \cdot 5^0} \cdot 0,53 = 90 \text{ м/хв}$$

Визначається розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 90}{\pi \cdot 40} = 716 \text{ об./хв.}$$

Приймається $n = 750$ об./хв.

Уточнюємо дійсну швидкість різання $V = \pi \cdot D \cdot n / 1000 = 94$ м/хв.

Визначається час оброблення:

$$T_o = \frac{L}{S_{xв}} = \frac{l_{x.i.} + l_{вріз.} + l_{перебігу}}{S_o \cdot n} = \frac{430 + 40}{1 \cdot 750} = \frac{470}{750} = 0,6 \text{ хв.}$$

Визначається колова сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot h^{x_p} \cdot S_z^{y_p} \cdot B^{u_p} \cdot Z}{D^{q_p} \cdot n^{w_p}},$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

де C_p – коефіцієнт, що враховує умови оброблення, $C_p = 54,5$; x, y, u, q, w – показники степенів, що виражають вплив глибини різання, подачі, ширини фрезерування, діаметра фрези та частоти обертання відповідно на головну складову сили різання, $x = 0,9$; $y = 0,74$; $u = 1,0$; $q = 1,0$; $w = 0$ [14].

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 1,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,74} \cdot 33^1 \cdot 5}{40^1 \cdot 750^0} = 865 \text{ Н}$$

Крутний момент на шпинделі

$$M = \frac{10 \cdot P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{10 \cdot 865 \cdot 40}{2 \cdot 1000} = 173 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання на шпинделі верстата

$$N = P_z \cdot V / (60 \cdot 1020) = 1,33 \text{ кВт}$$

Результати заносяться до таблиці 1.11.

Таблиця 2.11 – Режими різання для оброблення отвору ДКБ5.

h , мм	S_z , мм/зу б	S_o , мм/об.	$S_{xв}$, мм/хв	V , м/хв	n , об./хв.	T_o , хв	M , Н · м	P_z , Н	N , кВт
1,3	0,2	1,6	1200	94	750	0,5	173	865	1,33

2.10.2 Визначення режимів різання аналоговими методами

Таблиця 2.6 – Режими різання на технологічних переходах

Номер операції	Номер переходу	h, мм	S _z , мм/зуб	S _o , мм/об	S _{xв} , мм/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	2	3	4	5	6	7	8
005	01	-	-	-	-	-	-
	02	1,3	0,2	1	750	90	750
	03	0,5	0,2	1	750	90	750
	04	0,2	0,2	1	750	90	750
	05	5	-	0,3	240	20	800
	06	5,5	-	0,2	160	14	800
	07	0,88	-	0,15	105	10	700
	08	0,1	-	0,15	60	5	600
	09	0,05	-	0,1	60	5	600
010	01	1,3	0,2	1	750	90	750
	02	-	-	-	-	-	-
	03	1,3	0,2	1	750	90	750
	04	-	-	-	-	-	-
	05	-	-	-	-	-	-
	06	1,3	0,2	1	750	90	750
	07	2	0,2	1	750	90	750
	08	3	-	0,2	160	14	800
	09	0,4	-	0,15	105	10	700
	10	1,6	-	-	900	90	900
	11	-	-	0,8	240	5	300
	12	-	-	-	-	-	-
	13	0,5	0,2	1	750	90	750
	14	-	-	-	-	-	-
	15	2	0,2	1	750	90	750
	16	4	-	0,2	160	14	800
	17	3	-	0,2	160	14	800
	18	0,25	-	0,15	105	10	700
	19	1,6	-	-	900	90	900
	20	-	-	1,5	240	5	300
	21	-	-	-	-	-	-
	22	-	-	-	-	-	-
	23	0,5	0,2	1	750	90	750
	24	0,2	0,2	1	750	90	750

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

1	2	3	4	5	6	7	8
010	25	3	0,2	1	750	90	750
	26	0,8	-	0,2	400	350	2000
	27	3,6	-	0,2	160	14	800
	28	0,3	-	0,15	105	10	700
	29	1	-	-	900	90	900
	30	-	-	0,8	240	5	300
	31	0,3	-	0,1	200	350	2000
	32	0,1	-	0,05	100	350	2000
	33	1	-	-	900	90	900
	34	-	-	-	-	-	-
	35	1,3	0,2	1	750	90	750
	36	0,5	0,2	1	750	90	750
	37	3	0,2	1	750	90	750
	38	0,8	-	0,2	400	350	2000
	39	2,1	-	0,15	120	11	800
	40	0,1	-	0,15	105	10	700
	41	1	-	-	900	90	900
	42	-	-	0,8	240	5	300
	43	0,3	-	0,1	200	350	2000
	44	0,1	-	0,05	100	350	2000
	45	1	-	-	900	90	900
	46	-	-	-	-	-	-
	47	0,5	0,2	1	750	90	750
	48	0,2	0,2	1	750	90	750
	49	4	-	0,2	160	14	800
	50	0,25	-	0,15	105	10	700
	51	1,6	-	-	900	90	900
	52	-	-	1,5	240	5	300
	53	1	-	0,2	160	14	800
	54	0,4	-	0,15	105	10	700
	55	0,15	-	0,15	60	5	600
	56	0,5	-	0,1	60	5	600
57	-	-	-	-	-	-	
58	-	-	-	-	-	-	
59	1,3	0,2	1	750	90	750	
60	-	-	-	-	-	-	
61	1,3	0,2	1	750	90	750	
62	-	-	-	-	-	-	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

79

1	2	3	4	5	6	7	8
010	63	0,5	0,2	1	750	90	750
	64	0,2	0,2	1	750	90	750
	65	-	-	-	-	-	-
	66	0,5	0,2	1	750	90	750
	67	0,2	0,2	1	750	90	750
	68	0,8	-	0,2	400	350	2000
	69	0,3	-	0,1	200	350	2000
	70	0,1	-	0,05	100	350	2000

2.11 Нормування технологічних операцій

2.11.1 Розрахунок штучного часу для операції

Визначимо норму часу, що приходить на операцію 010 «Багатоцільова з ЧПК» при обробленні деталі «Корпус черв'ячного редуктора».

Норма часу штучного визначається за наступною формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{обсл} + T_{пп}$$

де $T_{оп}$ - операційний час оброблення, хв;

$T_{обсл}$ - час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{пп}$ - час планових перерв, хв [8].

$$T_{оп} = T_о + T_{доп}$$

де $T_о$ - основний час оброблення, хв;

$T_{доп}$ - допоміжний час роботи, хв, визначається за формулою:

$$T_{доп} = T_{в.з.} + T_{з.р} + T_{уп} + T_{вим} + T_{ц}$$

де $T_{в.з.}$ - час на установку та зняття деталі, хв;

$T_{з.р.}$ - час на закріплення та розкріплення деталі, хв;

$T_{уп}$ - час на управління обладнанням, хв [8];

$T_{вим}$ - час на вимірювання, хв;

$T_{ц}$ - час на зміну інструменту, $T_{ц} = 4,2$ с;

Допоміжний час для операції:

$$T_{доп} = 15 + 30 + 15 + 5 + 21 = 86 \text{ с} = 1 \text{ хв } 26 \text{ с.}$$

Основний час оброблення для всієї операції: $T_о = 2$ хв.

Отже, оперативний час складає:

$$T_{оп} = 120 + 86 = 206 \text{ с} = 3 \text{ хв } 26 \text{ с.}$$

Час на обслуговування робочого місця:

$$T_{обсл} = T_{тех} + T_{орг}$$

де $T_{тех}$ - час на технічне обслуговування робочого місця, хв;

$T_{орг}$ - час на організаційне обслуговування робочого місця, хв;

$$T_{обсл} = 300 + 6 = 306 \text{ с} = 5 \text{ хв } 6 \text{ с}$$

Час планових перерв $T_{пп}$ в 8% від $T_о$, тобто він становить 10 с.

Підставивши дані в формулу $T_{шт}$, отримаємо:

$$T_{шт} = 206 + 306 + 10 = 522 \text{ с} = 8 \text{ хв } 42 \text{ с}$$

Визначимо норму штучно-калькуляційного часу за наступною формулою:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n}$$

де $T_{п.з.}$ - підготовчо-заключний час, хв; $T_{п.з.} = 13$ хв; n - кількість деталей в партії, шт;

$$T_{шт-к} = 8,7 + \frac{13}{40} = 9,03 = 9 \text{ хв } 2 \text{ с.}$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

2.11.2 Нормування аналоговими методами

Таблиця 2.13 – Основний час на технологічних переходах

Номер операції	Номер переходу	T_o , хв
1	2	3
005	01	0,1
	02	0,04
	03	0,05
	04	0,17
	05	0,17
	06	0,02
	07	0,02
	08	0,04
	09	0,04
010	09	0,05
	10	0,17
	11	0,17
	12	0,02
	13	0,02
	14	0,04
	15	0,04
	16	0,05
	17	0,17
	18	0,17
	19	0,02
	20	0,02
	21	0,04
	22	0,04
	23	0,05
	24	0,17
25	0,17	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

82

1	2	3
010	26	0,02
	27	0,02
	28	0,04
	29	0,04
	30	0,05
	31	0,17
	32	0,17
	33	0,02
	34	0,02
	35	0,04
	36	0,04
	37	0,05
	38	0,17
	39	0,17
	40	0,02
	41	0,04
	42	0,04
	43	0,05
	44	0,17
	45	0,17
	46	0,02
	47	0,02
	48	0,04
	49	0,04
	50	0,05
	51	0,17
	52	0,17
	53	0,02

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

1	2	3
010	54	0,02
	55	0,04
	56	0,04
	57	0,05
	58	0,17
	59	0,17
	60	0,02
	61	0,02
	62	0,04
	63	0,04
	64	0,05
	65	0,17
	66	0,17
	67	0,02
	68	0,02
69	0,04	
70	0,03	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Арку

84

3 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

3.1 Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв

3.1.1 Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв

Пристрій призначений для базування і закріплення заготовки на операції 010. Передбачається встановлення пристрою на поворотний стіл HAAS TRT210, який буде встановлено на стіл вертикально-фрезерного верстату з ЧПК HAAS VF-3. Пристрій одномісний з ручним затиском.

Прийнята схема базування для операції 010 передбачає базування по площині та двом отворами. Така схема базування позбавляє заготовку 6 ступенів вільності.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ30.

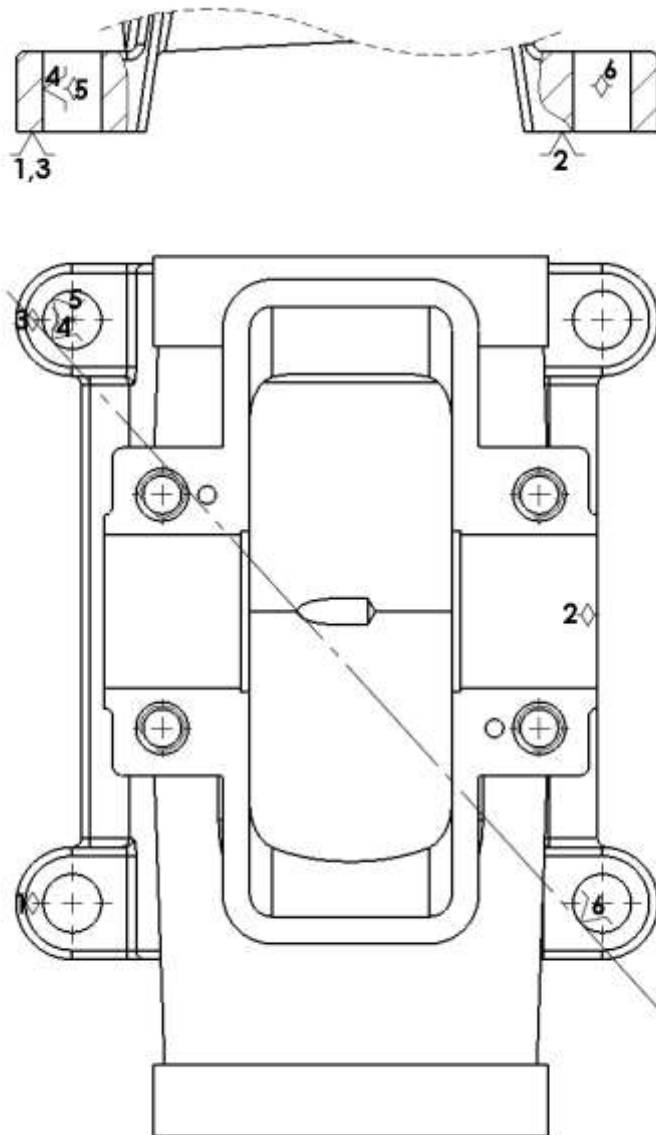


Рис. 3.1 – Схема базування у верстатному пристрої на операції 010.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

3.1.2 Послідовність розроблення конструкції пристрою

У відповідності до існуючих алгоритмів, проводимо розроблення конструкцій пристроїв: опрацьовуємо всі варіанти схем установки заготовок в пристрої і для найпростішої технічної реалізації обираємо конструкції установочних елементів пристрою; розроблюємо розрахункову схему сил і моментів, що діють на заготовку під час обробки, розраховуємо силу для гарантованого закріплення заготовки; розроблюємо схему затискного механізму і визначаємо його основні параметри; обираємо інші елементи пристрою; розробляємо ескіз загального виду пристрою, його принципову схему; виконуємо розрахунки пристрою на точність; розраховуємо на міцність (жорсткість) найслабші та найбільш навантажені ланки пристрою [9].

3.2 Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв

3.2.1 Розрахунок похибок базування

Заготовка у пристрої установлюється на один циліндричний і один зрізаний установочні пальці. Заготовка встановлюється на пальці із зазором, через що може виникати похибка [9]. Для визначення похибки базування необхідно визначити величину:

- граничного зсуву деталі;
- граничного повороту деталі;

Базування даної деталі виконується на площину і два пальці із посадкою $\text{Ø}13 \frac{H7}{g6}$. Враховуючи спосіб базування, похибку базування можна визначити як:

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{S_{\max}}{2} = \frac{S_{\min} + IT_{\text{отв}} + IT_{\text{пальця}}}{2}$$

$$\varepsilon_{\delta} = S_{\max} = S_{\min} + IT_{\text{отв}} + IT_{\text{пальця}}$$

де S_{\min} – мінімально можливий зазор в посадці;

Для посадки $\text{Ø}13 \frac{H7}{g6}$:

$$\varepsilon_{\delta} = 6 + 18 + 13 = 37 \text{ (мкм)}$$

Визначення граничного повороту:

$$\text{tg} \alpha = \frac{S_{\max}}{L/2} = \frac{0,037 \cdot 2}{175} = 0,00042$$

Граничний кут повороту:

$$\alpha = 0^{\circ}0'2,4''$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

За такого кута повороту різьбові отвори, розташовані на відстані 90 мм від центру повороту будуть зміщені на величину $90 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 90 \cdot 0,00021 = 0,018 \text{ мм}$, що менше допуску на просторове розташування цих отворів.

3.2.2 Визначення похибок закріплення верстатного пристрою

Похибку закріплення визначаємо аналоговим методом[9]. Плита пристрою буде встановлюватися на шліфовану планшайбу поворотного столу $\varnothing 210$, отже з таблиці[9,ст. 59] обираємо значення похибки закріплення: $\varepsilon_3 = 150 \text{ мкм}$.

3.2.3 Послідовність проектного розрахунку точності пристрою

Методика проектного розрахунку верстатних пристроїв включає в себе виконання таких етапів:

1. Підготовку вихідних даних для проектування;
2. Розроблення компоновки пристрою;
3. Розрахунок пристрою на точність;
4. Розрахунок необхідної сили затиску;
5. Розрахунок силових механізмів [9].

Не дивлячись на лінійність викладеної методики, процес проектування і розрахунку часто таким не являється. Проектний розрахунок пристроїв це – ітераційний процес, в якому повернення до попередніх етапів може відбуватися, наприклад, для уточнення схеми установки, зміни вимог до елементів пристрою тощо.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

3.3 Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв

3.3.1 Розрахунок необхідної сили затиску заготовки Q для операції 010

Під час фрезерування торцевою фрезою під дією сил різання може відбуватися зміщення заготовки в напрямку дії цих сил. Даним силам протидіють сили тертя в місцях закріплення заготовки [9]. Схема дії сил зображена на рисунку 2.3.

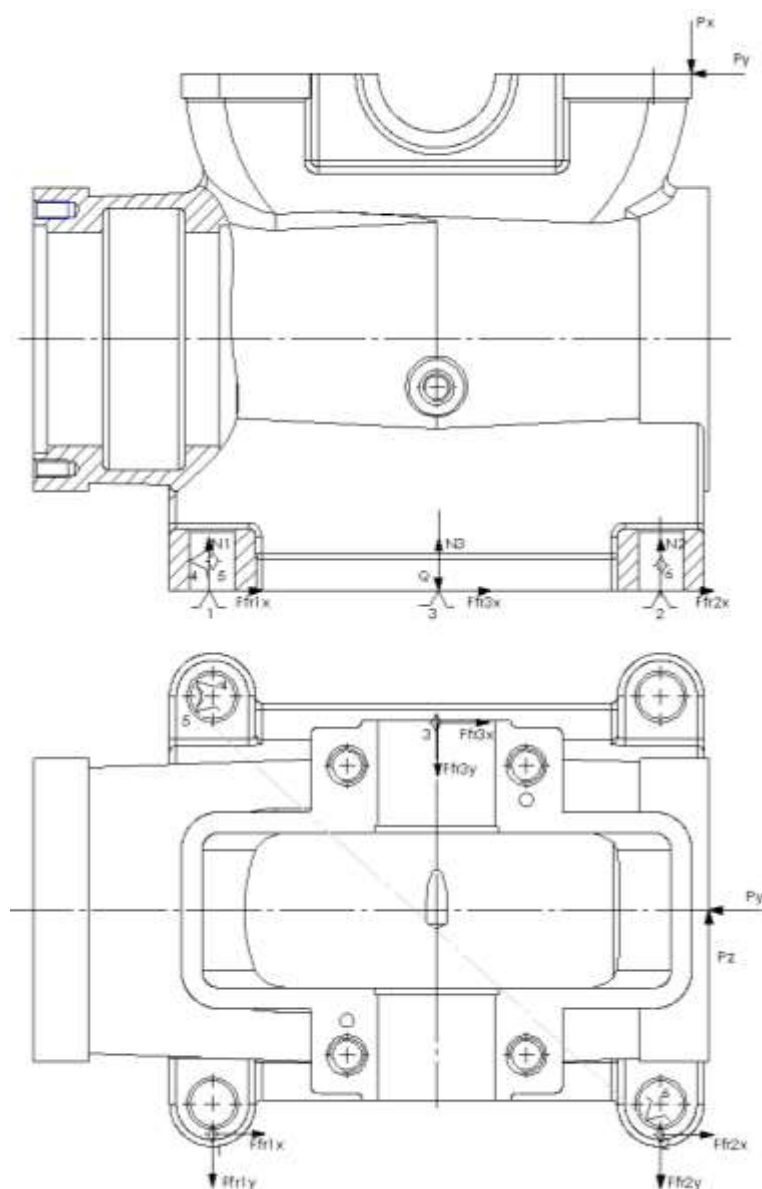


Рисунок 3.2 – Сили, що діють на деталь

Оскільки система має багато невідомих розкладемо її на три випадки:

- діє лише сила P_y ;
- діє лише сила P_z ;
- діє лише сила P_x .

Для розрахунку приймаємо наступні припущення:

- Вагу заготовки не враховуємо;
- Всі елементи пристрою абсолютно жорсткі;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ

Системи вирішуємо за допомогою програми Mathcad отримуємо такі результати:

- Перший випадок:

$$P_y = F_{fr1x} + F_{fr2x} + F_{fr3x}$$

$$N_1 + N_2 + N_3 = Q$$

$$Q \cdot 55 = N_3 \cdot 105$$

$$N_1 \cdot 70 = P_y \cdot 150 - N_2 \cdot 80$$

$$P_y \cdot 55 - F_{fr3x} \cdot 105 = 0$$

$$N_1 = \frac{F_{fr1x}}{f}$$

$$N_2 = \frac{F_{fr2x}}{f} \quad +$$

$$N_3 = \frac{F_{fr3x}}{f}$$

$$\text{Find}(N_1, N_2, N_3, F_{fr1x}, F_{fr2x}, F_{fr3x}, Q) \rightarrow \begin{pmatrix} 2995.2380952380952381 \\ -1233.3333333333333333 \\ 1938.0952380952380952 \\ 599.04761904761904762 \\ -246.6666666666666667 \\ 387.61904761904761905 \\ 3700.0 \end{pmatrix}$$

- Другий випадок:

$$P_z = F_{fr1y} + F_{fr2y} + F_{fr3y}$$

$$N_1 + N_2 + N_3 = Q$$

$$Q \cdot 55 + P_z \cdot 150 = N_3 \cdot 105$$

$$N_1 \cdot 70 = N_2 \cdot 70$$

$$N_1 = \frac{F_{fr1y}}{f}$$

$$N_2 = \frac{F_{fr2y}}{f}$$

$$N_3 = \frac{F_{fr3y}}{f}$$

$$\text{Find}(N_1, N_2, N_3, F_{fr1y}, F_{fr2y}, F_{fr3y}, Q) \rightarrow \begin{pmatrix} 704.7619047619047619 \\ 704.7619047619047619 \\ 5990.4761904761904762 \\ 140.95238095238095238 \\ 140.95238095238095238 \\ 1198.0952380952380952 \\ 7400.0 \end{pmatrix}$$

- Третій випадок:

$$N1 + N2 + N3 = Q + P_x$$

$$Q - 100 = N3 - 100 + P_x - 20$$

$$N1 - 66 + P_x - 45 = Q - 33$$

$$\text{Find}(N1, N2, N3, Q) \rightarrow \begin{pmatrix} 2220 \\ 11 \\ 30636 \\ 55 \\ 296 \\ 5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Склавши всі випадки отримаємо необхідну силу закріплення:

$$Q := \sqrt{3700^2 + 7400^2 + 0^2} = 8.273 \times 10^3$$

Приймаємо $Q = 8275 \text{ Н}$.

Для визначення сили, необхідної для надійного закріплення, вводимо коефіцієнт надійності закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$$

де k_0 - гарантований коефіцієнт запасу надійності закріплення, $k_0 = 1,5$;

k_1 - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання через випадкові нерівності на заготовці, для чорнового оброблення $k_1 = 1,0$;

k_2 - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання внаслідок затуплення інструменту, $k_2 = 1,0$;

k_3 - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при перервному різанні, $k_3 = 1,2$;

k_4 - коефіцієнт, що враховує непостійність затискного зусилля, для ручного затиску $k_4 = 1,5$;

k_5 - коефіцієнт, що враховує невизначеність через нерівності місця контакту заготовки з опорними елементами, що мають велику опорну поверхню (враховуючи наявності крутного моменту при повороті заготовки), для опорного елемента, що має обмежену поверхню контакту із заготовкою $k_5 = 1,0$ [9].

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 2,7$$

Отже, сила, необхідна для надійного затиску, буде рівна:

$$Q = 8275 \cdot 2,7 = 22342,5 \text{ Н}$$

Приймаємо $Q = 22350 \text{ Н}$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

3.3.2 Розрахунок силових механізмів пристроїв

Розрахунок силових механізмів пристроїв для операцій 005

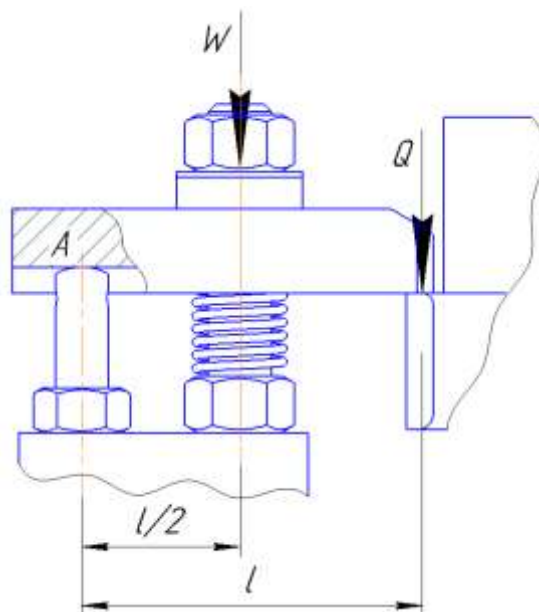


Рисунок 3.3 – Схема затиску заготовки

З умови рівноваги визначаємо силу W , якою необхідно затягнути гайку на затискному пристрої:

$$\sum M_A = 0 \parallel W \cdot \frac{l}{2} - Q \cdot l = 0$$

$$W = 2 \cdot Q = 2 \cdot 4800 = 9600 \text{ Н} = 9,6 \text{ кН}$$

Згідно рекомендацій для такого зусилля затиску обираємо для прихватів гайку М10 із середнім діаметром нарізи $d_2 = 9,026$ мм.

Момент затяжки можна знайти за формулою:

$$M_3 = 0,2 \cdot W \cdot d_2 = 0,2 \cdot 9600 \cdot 9,026 = 17330 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Максимальне допустиме зусилля прикладене до ключа для робітника становить $F_d = 150$ Н [9].

Загальна довжина ріжкового ключа на 16 мм становить 180 мм, зменшуємо його на 20 мм, щоб отримати довжину за яку може взятися робочий.

Розраховуємо необхідне зусилля для затиску:

$$F_d = \frac{M_3}{l_{min}} = \frac{17330}{160} = 108,3 \approx 109 \text{ Н}$$

Сила менша за допустиму, тож розрахунки вірні.

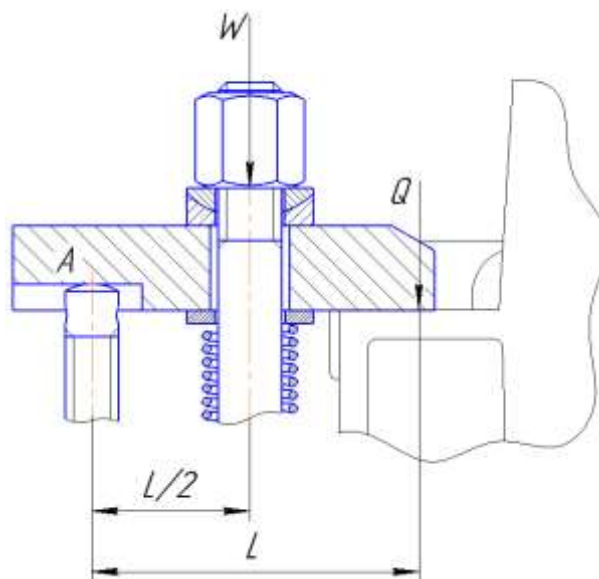


Рисунок 3.4 – Схема затиску заготовки

З умови рівноваги визначаємо силу W , якою необхідно затягнути гайку на затискному пристрої:

$$\sum M_A = 0 \parallel W \cdot \frac{l}{2} - Q \cdot l = 0$$

$$W = 2 \cdot Q = 2 \cdot 5600 = 11200 \text{ Н} = 11,2 \text{ кН}$$

Згідно рекомендацій для такого зусилля затиску обираємо для прихватів гайку М10 із середнім діаметром нарізи $d_2 = 9,026$ мм.

Момент затяжки:

$$M_3 = 0,2 \cdot W \cdot d_2 = 0,2 \cdot 11200 \cdot 9,026 = 20220 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Максимальне допустиме зусилля прикладене до ключа для робітника становить $F_d = 150$ Н [9].

Загальна довжина ріжкового ключа на 16 мм становить 180 мм, зменшуємо його на 20 мм, щоб отримати довжину за яку може взятися робочий.

Розраховуємо необхідне зусилля для затиску:

$$F_d = \frac{M_3}{l_{min}} = \frac{20220}{160} = 126,38 \approx 127 \text{ Н}$$

Сила менша за допустиму, тож розрахунки вірні.

4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Розрахунок основних техніко-економічних показників.

Початкові дані:

Операція 005: Устаткування – VF-3, Ц= 1470000 грн.

Нуст=22 кВт, S=10м², тшк=12,65 хв.

Устаткування – TRT210, Ц= 863700 грн.

Операція 010: Устаткування – VF-3, Ц= 1470000 грн.

Нуст=22 кВт, S=10м², тшк=12,65 хв.

Устаткування – TRT210, Ц= 863700 грн.

4.2 Визначення необхідного технологічного устаткування.

В умовах серійного виробництва розрахункове число верстатів пері по кожному виду визначається по формулі:

$$n_{срi} = \frac{A_{рiк} \cdot t_{шт.к.i}}{60 \cdot F_{д} \cdot k_{вн}}$$

де $A_{рiк}$ — річна програма випуску деталей: 300 шт.;

$t_{шт.к.i}$ — штучно-калькуляційний час обробки деталей на і-ом виді устаткування, год;

$F_{д}$ - дійсний річний фонд часу роботи устаткування, ч;

$k_{вн}$ — середній коефіцієнт виконання норм (приймається з діапазону 1,0...1,2) [10].

Дійсний річний фонд часу роботи одиниці устаткування визначається по формулі:

$$F_{д} = F_{реж} \cdot (1 - \alpha / 100)$$

де $F_{реж}$ - режимний фонд часу роботи одиниці устаткування в рік, ч;

α - відсоток простою устаткування в планово - попереджувальному ремонті по відношенню до режимного фонду часу [10].

Режимний фонд $F_{реж}$

$$F_{реж} = n_{зм} \cdot (t_{см} \cdot N_{дн.р} - t_{п} \cdot N_{дн.г})$$

де $n_{зм}$ – число робочих змін;

$$n_{см} = 1;$$

$t_{см}$ – тривалість робочого часу;

$$t_{см} = 8 \text{годин};$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

t_n – кількість неробочого годинника в передсвяткові дні;

$t_n = 1$ час;

$N_{\text{дн.р.}}$ – кількість робочих днів на рік;

$N_{\text{дн.р.}} = 254$;

$N_{\text{дн.г.}}$ – кількість передсвяткових днів [10];

$N_{\text{дн.г.}} = 4$

Підставляємо у формулу

$F_{\text{реж}} = 1 \cdot (8 \cdot 254 - 1 \cdot 4) = 2028$ годин.

Набутого значення підставляємо у формулу

$F_d = 2028 \cdot (1 - \alpha / 100)$

α приймаємо 5%, тоді

$F_d = 2028 \cdot (1 - 5 / 100) = 1927$ годин.

Визначаємо розрахункову кількість верстатів по формулі :

005 Операція: $n_1 = \frac{300 \cdot 5,26}{60 \cdot 1927 \cdot 1,1} = 0,012$ Приймаємо 1.

010 – Операція: $n_1 = \frac{300 \cdot 11,36}{60 \cdot 1927 \cdot 1,1} = 0,027$ Приймаємо 1.

Визначуваний середній коефіцієнт завантаження устаткування по виготовленню деталі "Корпус черв'ячного редуктора":

$$K_z = \frac{\sum n_{\text{срі}}}{n_{\text{пр}}} = 0,02$$

Визначимо необхідність в допоміжному устаткуванні :

- а) для ремонту устаткування;
- б) для ремонту і виготовлення устаткування;
- в) для заточування інструменту.

Кількість цього устаткування залежить від кількості основного технологічного устаткування

Вартість устаткування визначається за прейскурантом «Стан-Комплект» оптових цін на металорізальні верстати.

Витрати по транспорту і монтаж в цехи приймають 8-10% вартостей устаткування [10].

Набутих значень заносимо в таблицю 1.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Таблиця 4.1- Необхідне технологічне устаткування

	Модель устаткування	Вартість, грн.	Коефіцієнт завантаження устаткування	Прийняте кількість	N, квт
1	VF-3+TRT210	2333700	0.02	1	22

4.3 Визначення капітальних витрат

Виробництво і використання нової техніки вимагають додаткових капітальних витрат на основні фонди і оборотні кошти. Дані витрати визначаються по формулі:

$$D_o = K_{об} + K_{іс} + K_{пр}$$

де $K_{об}$ - витрати на устаткування, грн.;

$K_{іс}$ - витрати на придбання і виготовлення оснащення, грн.;

$K_{пр}$ - витрати на виробничі приміщення, грн [10].

У сфері виробництва нової техніки капітальні витрати на устаткування визначаються таким чином:

$$K_{об} = K_{об-т} + K_{об-пт} + K_{об-ен} + K_{об-ки}$$

де $K_{об-т}$ - витрати на основне технологічне устаткування, грн.;

$K_{об-пт}$ - витрати на підйомно-транспортне устаткування, грн.;

$K_{об-ен}$ - витрати на енергетичне устаткування, грн.;

$K_{об-ки}$ - витрати на контрольно-вимірювальне устаткування, грн [10].

Капітальні витрати на основне технологічне устаткування визначаються по формулі:

$$K_{об-т} = k_{тм} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{об-т i} \cdot N_{об-т ij} \cdot k_{з ij}$$

де $C_{об-т i}$ - вартість одиниці технологічного устаткування і-готипоразмера, грн./шт.;

$N_{об-т ij}$ — кількість одиниць технологічного устаткування і-типорозміру, зайнятого виконанням j-и операції, шт.;

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

k_{zij} - коефіцієнт завантаження устаткування i -го типорозміру, зайнятого виконанням j -и операції (визначається як відношення часу роботи устаткування до дійсного річного фонду часу роботи устаткування);

k_{tm} - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготовчі витрати, пов'язані з придбанням устаткування, витрати на будівельні роботи, пристрій фундаментів для устаткування, витрати на монтаж і наладку устаткування (приймається в межах 1,08...1,12);

n - кількість типорозмірів устаткування, зайнятого виконанням j -и операції, шт.;

m - кількість операцій, необхідних для виготовлення виробу [10].

Витрати на інші види устаткування визначаються укрупнено:

1) витрати на підйомно-транспортне устаткування приймають рівними 10...15% від витрат на технологічне устаткування;

2) витрати на енергетичне устаткування визначають за середньою вартістю за 1 кВт встановленої потужності;

3) витрати на контрольно-вимірювальне устаткування приймають рівними 15...20% від витрат на технологічне устаткування.

4) Капітальні витрати на оснащення визначаються по формулі:

$$K_{ic} = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^m C_{oc\ i} \cdot N_{ocij} \cdot k_{zocij} / A_{год}$$

де $C_{oc\ i}$ - вартість одиниці оснащення i -го типорозміру, грн./шт.;

N_{ocij} - кількість одиниць оснащення i -го типорозміру, необхідною для виконання j -и операції, шт.;

R - кількість типорозміру оснащення, необхідного для виконання j -и операції, шт.;

m - кількість операцій, необхідних для виготовлення виробу.

Оскільки точний розрахунок капітальних витрат на оснащення

утруднений враховуючи відсутність цілого ряду необхідних даних, витрати на оснащення визначаємо укрупнено: у відсотках від вартості технологічного устаткування (для серійного виробництва приймається з діапазону 1...3%).

5) Капітальні витрати на виробничі площі визначаються по формулі:

$$K_{пл} = S \cdot \eta_d \cdot C_{пл} \cdot k_{zij}$$

де S - сумарна площа, яка зайнята обладнанням (у плані)

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

m^2 Загальна площа:

$$S = (1,07...1,10) (S_{\text{вн.пр.}} + S_{\text{вн.доп.}})$$

де, (1,07...1,10) - коефіцієнт, який враховує внутрішню площу при зовнішньому обмірі;

$S_{\text{вн.пр.}}$ - внутрішня виробнича площа, m^2 ;

$S_{\text{вн.доп.}}$ - внутрішня площа допоміжних приміщень, m^2 ;

$$S_{\text{вн.пр.}} = (10+3.5+2.5) \cdot 3,5 = 56 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{вн.доп.}} = 28 \cdot 0,25 = 7 \text{ м}^2, \text{ тоді}$$

$$S = 1,1 \cdot (56 + 7) = 63 \text{ м}^2$$

C_{nl} - питома вартість виробничої площі $грн/м^2$ - 260-300 $грн/м^2$;

η_o - коефіцієнт що враховує додаткову площу на проходи, службових приміщень і ін.

$$\eta_o = 1,25...1,35$$

$$K_{nl} = 63 \cdot 1,3 \cdot 280 \cdot 0,02 = 458,64 \text{ грн}$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

Таблиця 4.2 – Статті капітальних витрат

Статті капітальних витрат	Величини капітальних витрат по варіантам технологічних процесів, грн.
На технологічне устаткування	2333700
На підйомно-транспортне устаткування	368259
На енергетичне устаткування	154000
На контрольно-вимірювальне устаткування	480593
Разом витрати на устаткування	3336552
Витрати на оснащення	296327,53
Витрати на виробничі приміщення	458,64
Разом сума капітальних витрат	296786,17

4.4 Розрахунок технологічної собівартості

У загальному випадку річна технологічна собівартість включає наступні статті витрат:

$$C_{tex} = C_z + C_a + C_{ce} + C_{po} + C_{pz} + C_{pr} + C_{zag}$$

де C_z — нарахування на заробітну платню обслуговуючого персоналу;

C_a - амортизаційні відрахування на реновацію устаткування;

C_{ce} - витрати на силову електроенергію;

C_{po} — витрати на зміст і ремонт устаткування;

C_{pz} - витрати на зміст і поточний ремонт будівлі;

C_{pr} - інші витрати [10].

Нарахування на заробітну плату робочих, обслуговуючих устаткування, визначається таким чином:

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

$$C_3 = (C_{\text{осн}} + C_d) \cdot k_H$$

де $C_{\text{осн}}$ - основна заробітна платня;

C_d - додаткова заробітна платня;

k_H - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну платню:

$$k_H = k_{\text{фс}} + k_{\text{осс}} + k_{\text{фз}} + k_{\text{пф}}$$

де $k_{\text{фч}}$ - коефіцієнт, який враховує відрахування до фонду страхування від нещасних випадків (приймається рівним 0,0255);

$k_{\text{осс}}$ - коефіцієнт, який враховує відрахування органам соціального страхування (приймається рівним 0,29);

$k_{\text{фз}}$ - коефіцієнт, який враховує відрахування до фонду зайнятості (приймається рівним 0,016);

$k_{\text{пф}}$ - коефіцієнт, який враховує відрахування до пенсійного фонду (приймається рівним 0,323) [10].

$$\text{Тоді } k_H = 0,0255 + 0,29 + 0,016 + 0,323 = 0,65.$$

Основна заробітна плата визначається по формулі:

$$Z_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^m C_{Ti} \cdot t_{\text{шт.к. } i} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дз}} / 60$$

де C_{Ti} - годинна тарифна ставка i -го робочого, обслуговуючого устаткування, грн. (3-ий розряд – 8.96 грн., 4-й розряд – 11.03 грн., 5-й розряд – 15.34 грн.);

$\eta_{\text{п}}$ - коефіцієнт, який враховує доплати за професійну майстерність, бригадиру і тому подібне (вибирається з діапазону 1,04...1,20);

$\eta_{\text{д}}$ - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну платню (вибирається з діапазону 1,06...1,08);

$\eta_{\text{з}}$ — коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування ($\eta_{\text{з}} = 1,52$).

$$Z_{\text{осн}} = \frac{48,4 \cdot 16,62 \cdot 1,08 \cdot 1,52}{60} = 22,01 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна платня визначається по формулі:

$$C_d = 0,2 \cdot Z_{\text{осн}}$$

$$C_d = 0,2 \cdot 22,01 = 4,4 \text{ грн}$$

$$C_3 = (22,01 + 4,4) \cdot 0,65 = 17,17 \text{ грн.}$$

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Амортизаційні відрахування на реновацію устаткування визначаються по формулі:

$$C_a = \sum_{i=1}^m \frac{Ц_o \cdot t_{шт.к.i}}{60 \cdot T \cdot F_o}$$

де $Ц_o$ - вартість устаткування, грн.

$T=6$ - термін служби устаткування, років;

F_d - дійсний річний фонд часу роботи устаткування, ч [10].

$$C_a = \frac{2333700 \cdot 16,62}{60 \cdot 6 \cdot 1927} = 55,91 \text{ грн}$$

Витрати на силову електроенергію визначаються по формулі:

$$C_e = \sum_{i=1}^m N_{дв \cdot шт.к.} \cdot i \cdot Ц_e \cdot R_v \cdot R_m / 60$$

де $N_{дв}$ - потужність, споживана верстатом, кВт;

$Ц_e$ - середня вартість 1 кВт електроенергії, яка враховує як тарифну плату за 1 кВт електроенергії, так і за 1 кВт встановленій потужності;

$Ц_e = 1,2$ грн. / кВт • ч;

R_v - коефіцієнт, який враховує використання устаткування впродовж робочого дня (приймається рівним 0,9);

R_m — коефіцієнт, який враховує використання потужності впродовж робочого дня (приймається рівним 0,8);

m - кількість операцій, необхідних для виготовлення виробу [10].

$$C_e = \frac{(22 \cdot 11,36 + 22 \cdot 5,26)}{60} \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 5,27 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на зміст, поточні і капітальні ремонти устаткування.

$$C_{TP} = \frac{\mu_T \cdot [(W_o + W_{TP})k_M + (W'_o - W'_{TP})k_E] \cdot T_{шт-к}}{F_o}$$

де μ - коефіцієнт який враховує клас точності устаткування;

$W_o, W_{TP}, W'_o, W'_{TP}$ - витрати на всі види ремонту в гривнях, механічних і електричних частин устаткування.

k_M, k_E - відповідно, кількість одиниць ремонтної складності, механічних і електричних частин устаткування.

Оскільки відсутні дані, то приймаємо 15% від амортизаційних витрат

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

$$C_{TP} = 0,15 \cdot 55,91 = 8,39 \text{ грн}$$

Зміст і амортизація приміщень.

$$C_{нмц} = \frac{W_{нл} \cdot S_{\epsilon} \cdot k_{н}}{F} T_{шт}$$

$$C_{нмц} = 240 \cdot 63 \cdot 3,5 \frac{48,4}{3853 \cdot 60} = 11,07 \text{ грн.}$$

Враховуючи річну програму випуску, конфігурацію і матеріал деталі, як заготовку вибираємо виливок

4.5 Визначення собівартості виготовлення заготовки

Собівартість виготовлення заготовки визначається за формулою (4.1).

$$S_3 = (C/1000) \cdot M_3 \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_{сер} \cdot K_{пр} \cdot K_{тер} \cdot K_{Г} \cdot K_B - (M_3 - M_D) \cdot S_c / 1000, (4.1)$$

де С — базова вартість 1 тони матеріалу СЧ30, С = 55 000 грн.;

де M_3 — маса заготовки, $M_3 = 5,47$ кг;

де K_T — доплата та скидка за відхилення вимог щодо точності розмірів виливка від базових, $K_T = 1,2$;

де K_M — доплата та скидка за відхилення вимог щодо точності маси виливка від базових, $K_M = 1,08$;

де K_C — доплата за поставку виливка з уточненими проти базових товщини стінок, $K_C = 1,00$;

де $K_{сер}$ — доплата та скидка за серійність, $K_{сер} = 1,11$;

де $K_{пр}$ — коефіцієнт, що враховує доплату в залежності від призначення виливка, $K_{пр} = 1,04$;

де $K_{тер}$ — коефіцієнт, який враховує доплату за термічну та термохімічну обробку, $K_{тер} = 1,00$;

де $K_{Г}$ — доплата за ґрунтовку виливка, $K_{Г} = 1,00$;

де K_B — коефіцієнт, який враховує доплату за спеціальні випробування, $K_B = 1,00$;

де M_D — маса деталі, $M_D = 4,79$ кг;

де S_c — вартість 1 тони відходів (стружки), $S_c = 7 100$ грн [10].

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Підставивши дані значення у формулу (4.1), отримуємо:

$$S_3 = (55000/1000) \cdot 5,47 \cdot 1,29 \cdot 1,08 \cdot 1,00 \cdot 1,11 \cdot 1,04 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \times \\ \times 1,00 - (5,47 - 4,79) \cdot 7100/1000 = 479,03 \text{ грн.}$$

Тобто, остаточна ціна вилівка складає 479 гривень 3 копійки.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Забезпечення безпеки при експлуатації підйомно-транспортних машин

Норми відстаней від вантажопідйомної машини до частин будинку наведено в таблиці 5.2.

На проєктованій ділянці для вантажно-розвантажувальних і складських робіт застосовується кран вантажопідйомністю 5 тонн [11].

Клас навантаження крану приймаємо Q4, що відповідає коефіцієнт вантажопідйомності $K = 0,5 \dots 1,0$ [11].

Режим роботи приймаємо класу 5К, що стосується кранів для робіт середньої інтенсивності в механічних цехах.

Таблиця 5.2 Відстані від вантажопідйомної машини до частин будинку та устаткування

Нормована відстань	Припустиме значення, не менш
від виступаючих частин торців крана до колони і стін будинку, перил прохідних галерей	60 мм
від верхньої точки вантажопідйомної машини до стелі будинку	100 мм
від нижніх виступаючих частин вантажопідйомної машини до устаткування, розташованого в зоні її дії	400 мм
від підлоги посадкової площадки для входу в кабінку до нижніх частин перекриття	1800 мм
від нижньої габаритної точки кабіни до підлоги цеху	2000 мм
від нижньої габаритної точки вантажопідйомної машини, до підлоги, на якому під час роботи крана можуть бути люди	2000 мм

Виходячи з класів навантаження та режиму роботи, згідно з вимогами ДНАОП0.00-1.03-02 “Правила будови та безпеки експлуатації вантажопідйомних кранів”, визначаємо запас міцності тросу 5 [11].

При експлуатації підйомно-транспортних машин усі що рухаються або обертаються частини механізмів відгороджуються.

Кран, що знаходиться в роботі, піддається періодичному технічному оглядові [11].

При повному технічному огляді кран піддається оглядові, динамічному і статичному іспиту.

Іспити ПТМ підрозділяються на:

1. Неповний – 1 раз у рік. Маса вантажу – максимальна плюс 25%, утримують на висоті 100мм протягом 10 хвилин. Потім контролюють на скільки зменшилася відстань між підлогою і вантажем. Перевіряється робота металоконструкцій у зоні пружних деформацій і робота гальма нормального замкнутого типу.

2. Повний іспит – 1 раз у три роки. Містять у собі статичні і динамічні навантаження.

Динамічні іспити роблять вантажем, який на 10% перевищує вантажопідйомність машини і мають на меті перевірку дії механізмів крана і гальм. Допускається іспит здійснювати робочим вантажем. При динамічних іспитах проводяться повторні підйоми й опускання вантажів.

При технічному огляді сталеві канати забраковують по числу обривів дротів на довжині одного кроку звивки каната, при цьому враховується їхня конструкція і запас міцності. При виявленні в канаті обриву пасма, канат до подальшої роботи не допускається.

3. Траверси проходять огляд не рідше, ніж через 6 місяців; тара, кліщі – 1 місяць; стропи – 10 днів.

Фарбування частин механізмів відповідає вимогам ДСТ 12.2.058-81. Весь корпус пофарбований жовтим сигнальним кольором, що означає: “Увага”, “Попередження про можливу небезпеку”. Усі рухливі органи офарбовуються чорно-жовтим кольором у смужку під кутом 45°. Кнопка вимикання пофарбована червоним кольором [11].

5.2 Планування обладнання для спроектованого технологічного процесу

У відповідності зі [12]:

- 1) ширина проходів — 1 м;
- 2) ширина коридорів — 1,4 м;
- 3) ширина дверей — 0,8 м.

Норми відстаней між верстатами і від верстатів до колон будинків наведено в таблиці 5.3.

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Таблиця 5.3 Норми відстаней між верстатами і від верстатів до колон будинків

Відстань	Норма, мм
між тильними сторонами верстатів	800
між верстатами по фронту	900
від стін або колон будинку до:	
— тильної або бічної сторони верстата	800
— фронту верстата	1500
між верстатами, розташованими поперечно до проїзду:	
— при розташуванні “у потилицю”	1500
— при розташуванні друг до друга	2500

Площа на одного працюючого — 5 м².

Об’єм виробничого приміщення на один працюючого — 15 м³ (відповідно до СН 4088-86).

Висота приміщень від полу до виступаючих частин комунікацій:

- у місцях регулярного проходу людей — 2 м;
- у місцях нерегулярного проходу людей — 1,8 м.

Планування ділянки забезпечує вільний і безпечний доступ обслуговуючого персоналу до устаткування.

Відповідно до вимог [13], відстані від стін до тильної сторони устаткування — 900 мм, до фронту устаткування — 200 мм.

Список використаної літератури

1. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. Изд. 7-е, перераб. и доп. М.: «Машиностроение», 1979. – 303с.
2. Шугай В.Р., Фролов В.К. Комп'ютерна програма «Параметри верстатного пристрою при базуванні деталі на отвори». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85946 від 18.02.2019. Заявка № 87540 від 13.02.2019. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.
3. C. Klahn, M. Mebold, Entwicklung und konstruktion für die Additive Fertigung, Vogel Business Media, Würzburg, 2018.
4. D. Thomas, The development of design rules for Selective Laser Melting, University of Wales Institute, Cardiff, 2009.
5. Y. Stoyan, T. Romanova, Mathematical models of placement optimization, two- and three-dimensional problems and applications, Modeling and Optimization in Space Engineering 73 (2012) 363–388. DOI: 10.1007/978-1-4614-4469-5_15.M. Leary, L. Merli, F. Torti, M. Mazur, M. Brandt, Optimal topology for additive manufacture: A method for enabling additive manufacture of support-free optimal structures, Materials and Design 63 (2014) 678–690. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.06.015.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 912 с.
7. Проектування технологічних процесів. Методичні вказівки для виконання курсового проекту та самостійної роботи студентів за напрямом підготовки 6.0505-Інженерна механіка. Програма професійного спрямування Технології машинобудування усіх форм навчання./Укладачі:В.Г. Біланенко, В.П. Приходько.-Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». 2017.-151с.
8. Нормирование станочных работ. Определение вспомогательного времени при механической обработке заготовок: учебное пособие – Гришин Р.Г., Лысенко Н.В., Носов Н.В.; Самара, 2008 год – 143с.
9. Технологічне оснащення. Методичний посібник до виконання індивідуального конструкторського проекту при проектуванні затискних верстатних пристроїв для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка / Т.В. Біркіна, В.В. Зіль, В.І. Холоша. – Д.: Національний гірничий університет, 2012 – 73 с.
10. Економіка та організація виробництва: Підручник / За ред. В. Г. Герасимчука, А. Е. Розенплентера. – К.: Знання, 2007. – 678 с. – (Вища освіта XXI століття).

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

11. Безпека життєдіяльності та цивільний захист: підручник для студ. спеціальностей з природничих, соціально-гуманітарних наук та інженерно-комунікаційних технологій / О.Г.Левченко, О.В.Землянська, Н.А.Праховнік, В.В.Зацарний; КПІ ім.Ігоря Сікорського. – Київ: Каравела, 2019. – 268 с.
12. СНіП 2.09.02-85 "Розміри виробничих приміщень".
13. СН 4088-86 "Санітарні норми проектування промислових підприємств"/
14. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи студентів з дисципліни «Проектування контрольно-вимірювальних пристроїв» / Укладачі: Ю. А. Буренніков, Д. О. Лозінський. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 105 с.
15. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. – 380 с.
16. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування. Підручник.: ЖДТУ, Житомир, 2005. – 835 с.
17. Якимов О.В., Марчук В.І., Якимов О.О., Ларшин В.П. Технологія машино-та приладобудування. Підручник: Луцьк, ЛДТУ, 2005. – 710с.
18. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: навчально-методичний посібник/О.У. Захаркін.– Суми: Вид-во СумДУ, 2004. – 98 с.
19. Технологічні основи машинобудування / І.І. Назаренко, А.Т. Свідерський, В.І. Лесько / Конспект лекцій. Київ, КНУБА, 2016. – 102 с.
20. Михайлов В.М. Технологічні основи машинобудування: Навчальний посібник: У 2 ч. Ч.1. / В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна, Б.В. Ляшенко. – Харків: ХДУХТ, 2009. – 202с.
21. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 275 с.
22. <http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/>

ДОДАТКИ

Технологічна документація

Маршрутні карти

Операційні карти

Карти ескізів

Специфікації

Фрагмент G-коду

Опубліковані праці. Акт впровадження

					ДПБ.МТ-51.2019.ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108