

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Тишко Олександр Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Технологічний процес виготовлення деталі «Кришка передня фб8.040.001»

для умов середньосерійного типу виробництва
(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування
(назва освітньої програми)

131-Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

О. І. Тишко

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Костюк Назар Олегович, PhD, доцент кафедри КМВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор _____ Панчук В.Г.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131-Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Тишко Олександр Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технологічний процес виготовлення деталі «Кришка передня фб8.040.001» для умов середньосерійного типу виробництва

керівник роботи Костюк Назар Олегович, PhD, доцент кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від " 22 " 11 2024 року № 780/7

2. Строк подання студентом роботи 12 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі Кришка передня фб8.040.001», Тип виробництва середньосерійний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, 1. Конструкторсько-технологічний аналіз, 2.Проектування технології виготовлення деталі, 3.Проектування технологічної оснастки, 4.Науково-дослідна частина, 5.Перелік літературних джерел, 6.Додатки, 7.Графічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення деталі, креслення заготовки, карта наладки, аналіз точності, проектування верстатного пристрою, проектування контрольного пристрою, науково-дослідна.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		
2	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		
3	Костюк Назар Олегович, доцент кафедри КМВ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Конструкторсько-технологічний аналіз		
2	Проектування технології виготовлення деталі		
3	Проектування технологічної оснастки		
4	Науково-дослідна частина		
5	Графічна частина		
6	Захист магістерської роботи		

Студент _____
(підпис)

Тишко О.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Костюк Н. О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної магістерської роботи: «Технологічний процес виготовлення деталі «Кришка передня фб8.040.001» для умов середньосерійного типу виробництва».

Розрахунково-пояснювальна записка: __ сторінки, __ рисунків, __ таблиць, __ посилань, __ аркушів ф. А4 додатків.

Графічна частина: __ аркушів формату А1.

Об'єкт дослідження – обґрунтування технологічних параметрів процесу механічної обробки деталі кришка передня та конструктивних параметрів верстатних та контрольного пристроїв.

Предмет дослідження – технологічний процес виготовлення корпусної деталі ” Кришка передня фб8.040.001”

Мета роботи – вдосконалити технологічний процес виготовлення деталі ” Кришка передня фб8.040.001”, який дозволить отримати деталь згідно технічних вимог. Відповідно до поставленого завдання у магістерській роботі проведено аналіз конструкції та типовий технологічний процес її виготовлення; метод отримання заготовки.

За результатами аналізу, та враховуючи рекомендації літературних джерел було запропоновано проектний технічний процес її виготовлення для заданого типу виробництва, відповідно якому: обґрунтовано спосіб отримання заготовки; розраховано припуски та режими різання, а також норми часу на механообробні операції. Для підвищення продуктивності праці та забезпечення техніки безпеки при обробці деталі на металообробних верстатах, спроектовано верстатний пристрій, працездатність якого підтверджено розрахунками наведеними в пояснювальній записці. Запропоновано контрольний пристрій, який відстежує правильність виготовлення деталі. У науково-дослідній частині проведено аналіз розподілу залишкових напружень у зоні свердління заготовки під впливом осьового навантаження. В додатках наведена технологічна документація та специфікація пристроїв.

Результати роботи можуть бути використані в машинобудівній галузі.

Ключові слова: *деталь, заготовка, технологічна операція, режими різання, швидкість різання, пристрій верстатний, пристрій контрольний, сила затиску, інструмент.*

Студент: *Тишко О. І.*

SUMMARY

Qualifying master's thesis: " Technological process of manufacturing a part "Front cover fb8.040.001" for the conditions of medium-series production"

Calculation and explanatory note: __ pages, __ figures, __ tables, __ references, __ sheets f. A4 applications.

Graphic part: __ sheets of A1 format.

The object of the study is the substantiation of the technological parameters of the process of mechanical processing of the body part and the structural parameters of machine tools and control devices.

The subject of the study is the technological process of manufacturing the hull part " Front cover fb8.040.001"

The purpose of the work is to improve the manufacturing process of the part " Front cover fb8.040.001", which will allow to obtain the part according to the technical requirements. In accordance with the assigned task, the master's work analyzed the structure and the typical technological process of its manufacture; the method of receiving the workpiece.

Based on the results of the analysis, and taking into account the recommendations of literary sources, a design technical process of its production was proposed for a given type of production, according to which: the method of obtaining the workpiece was substantiated; allowances and cutting modes are calculated, as well as time standards for machining operations. To increase labor productivity and ensure safety during the processing of parts on metalworking machines, a machine tool was designed, the efficiency of which was confirmed by the calculations given in the explanatory note. A control device is proposed that monitors the correctness of the production of the part. In the research section, an analysis of residual stress distribution in the drilling zone of the workpiece under axial load was conducted. Technological documentation and device specifications are given in the appendices.

The results of the work can be used in the engineering industry.

Keywords: part, workpiece, technological operation, cutting modes, cutting speed, machine device, control device, clamping force, tool.

Student: Tyshko O. I.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ.....	9
1.1 Аналіз призначення і конструкції деталі.....	9
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	16
1.3 Визначення річної програми та кількості деталей в партії.....	20
2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	23
2.1 Аналіз базового технологічного процесу і розробка маршрутної технології.....	23
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки	23
2.1.2 Опис і аналіз базового технологічного процесу.....	33
2.1.3 Опис вдосконаленого технологічного процесу.....	35
2.2 Розробка операційної технології.....	37
2.2.1 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення технологічних розмірів.....	37
2.2.2 Розрахунок режимів різання і уточнення моделей верстатів.....	42
2.2.3 Нормування технологічного процесу.....	51
2.3. Аналіз точності обробки.....	55
2.4 Проектування керуючої програми обробки на верстаті з ЧПК.....	60
3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ.....	63
3.1 Проектування верстатного пристрою	63
3.1.1 Вибір установчих елементів, схеми базування та способу закріплення деталі в пристрої.....	63

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснююча записка ІФНТУНГ ПМКМ-23-1			
Розроб.		Тишко О.І.						
Перевір.		Костюк Н. О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Костюк Н. О.						
Затверд.		Панчук В.Г.			Літ.	Арк.	Аркушів	
						6	83	

3.1.2 Розрахунок необхідних сил закріплення та приводу пристрою.....	63
3.1.3 Розрахунок елементів пристрою на міцність.....	65
3.1.4 Розрахунок пристрою на точність	66
3.1.5 Розробка технічних умов на пристрій, компонування та опис його роботи	68
3.2 Розробка контрольного пристрою.....	69
3.2.1 Розрахунок пристрою на точність.....	69
3.2.2.Опис конструкції і принципу роботи контрольного пристрою	69
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	70
Аналіз розподілу залишкових напружень у зоні свердління заготовки під впливом осьового навантаження.....	70
5. ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
6. ДОДАТКИ.....	78
Комплект технологічної документації.....	78
Специфікації загальних видів складальних креслень.....	82
7. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	
Креслення в кількості 7 листів.	

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні умови промислового виробництва висувають високі вимоги до якості, точності та економічної ефективності виготовлення деталей машин. Одним із ключових етапів технологічного процесу є забезпечення оптимального проектування та виготовлення деталей, що відповідають заданим функціональним характеристикам. У контексті середньосерійного типу виробництва, де досягається баланс між масштабами випуску та індивідуальними вимогами замовників, особливо важливим є розробка універсальних і водночас ефективних технологічних рішень.

Деталь "Кришка передня" належить до групи корпусних виробів, які широко використовуються у машинобудуванні. Ця деталь виконує функцію кріплення, герметизації та забезпечення точного розташування інших компонентів механізму. Технологічний процес її виготовлення потребує врахування конструктивних особливостей, властивостей матеріалу, умов експлуатації та особливостей середньосерійного типу виробництва.

Обрання раціонального технологічного маршруту, визначення оптимальних режимів обробки, вибір сучасного інструменту та оснащення, а також застосування автоматизованих систем проектування є важливими етапами для забезпечення високої продуктивності та мінімізації витрат. Водночас, особливу увагу необхідно приділити аналізу залишкових напружень, точності обробки, шорсткості поверхонь та довговічності готової деталі.

Таким чином, дана магістерська робота спрямована на вирішення актуальної задачі машинобудування — розробки ефективного технологічного процесу виготовлення деталей корпусного типу для середньосерійного виробництва з урахуванням сучасних інженерних підходів і тенденцій розвитку галузі.

					MP.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

1.1 Аналіз призначення і конструкції деталі

Деталь «Кришка передня фб8.040.001» є важливим елементом у складі механічних пристроїв, які працюють у складних умовах експлуатації. Завдяки своїм конструкційним особливостям, ця деталь забезпечує герметичність, фіксацію і взаємодію компонентів механізму. Основним матеріалом для виготовлення кришки є чавун марки Сч20, який на мою думку обраний через його високу міцність, здатність витримувати значні навантаження та стійкість до зношування.

Конструкція деталі. Кришка передня має форму порожнистого ступінчастого диска з овальним контуром. Така геометрія забезпечує необхідну міцність і дозволяє рівномірно розподіляти навантаження, яке виникає під час роботи. Вона складається з:

1. Корпусної частини, що забезпечує з'єднання з основним механізмом;
2. Отворів під різьбові з'єднання, які виконують функцію кріплення до суміжних деталей;
3. Спряжувальної поверхні, яка відповідає за щільне прилягання до корпусу пристрою;
4. Порожнини, що полегшує вагу деталі та знижує матеріалоемність без втрати міцності.

Поверхні деталі оброблені з високою точністю, що дозволяє досягти необхідних геометричних параметрів і мінімізувати похибки при складанні. Особливо важливими є площини спряження, які гарантують герметичність і надійність з'єднання.

Матеріал і його властивості. Чавун Сч20, з якого виготовляється кришка, має оптимальне поєднання міцності, твердості та технологічності. Хімічний склад матеріалу представлено в таблиці 1.1, фізичні та механічні властивості — у таблиці 1.2, а технологічні характеристики, такі як оброблюваність, зносостійкість і корозійна стійкість, — у таблиці 1.3.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Хімічний склад

C,%	Si,%	Mn,%	S,%	P,%	Ni,%	Cr,%
			не більше			
3,3-4	0,2-0,52	0,3-0,35	0,046	0,04	0,25	0,2

ст. 65 [11]

Таблиця 1.2 - Фізичні і механічні властивості

Фізичні		Механічні		
Густина ρ , 10^3 кг/м ³	Коефіцієнт лінійного розширення α , 10^{-6} К ⁻¹	$\delta_{вр}$, 10^6 Па	$\delta_{вз}$, 10^6 Па	НВ
7,2-7,3	10-12	200	400	170-241

ст. 65 [11]

Таблиця 1.3 - Технологічні якості

K _{ц.р.}	K _{т.ц.}	Оброблюваність різанням	
		НВ	K ₉
1,2	0,8	170 241	1,2 0,9

ст. 65 [11]

Призначення та функції. Деталь виконує такі основні функції:

- Герметизація. Кришка створює замкнений об'єм, що запобігає витоку робочого середовища (газу, рідини тощо).
- Фіксація. Забезпечує надійне з'єднання компонентів механізму та стабільність конструкції.
- Розподіл навантаження. Її конструкція дозволяє ефективно розподіляти механічні зусилля, знижуючи ризик деформації чи руйнування.
- Захист. Захищає внутрішні компоненти механізму від зовнішніх впливів, таких як пил, волога чи механічні пошкодження.

Робота деталі. У процесі експлуатації кришка передня працює в складі корпусного вузла механізму. Основне навантаження припадає на спряжувальні поверхні, що відповідають за герметичність і точність з'єднання. (Таблиця 2 – Характеристика поверхонь деталі). Під час роботи деталь витримує тиск робочого середовища та механічні зусилля, що виникають у процесі взаємодії з іншими частинами конструкції. Для забезпечення довговічності деталі та її надійної роботи проводиться

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічна обробка ключових поверхонь. Висока точність виготовлення гарантує відповідність необхідним параметрам шорсткості й допусків. Окрім того, деталь піддається консервації, що знижує вплив корозійних факторів та збільшує термін служби.

Особливості виготовлення та обробки. Процес виготовлення кришки передбачає лиття з подальшою механічною обробкою. Основна увага приділяється: Точному формуванню геометричних параметрів отворів і поверхонь спряження; Зменшенню внутрішніх напружень матеріалу за рахунок термічної обробки; Нанесенню захисного шару для запобігання корозії.

Деталь «Кришка передня фб8.040.001» є прикладом ефективного інженерного рішення, що поєднує в собі оптимальну конструкцію, технологічність виготовлення та експлуатаційну надійність. Завдяки ретельно підбраному матеріалу та високій точності обробки ця деталь забезпечує стабільну роботу вузлів механізмів у найрізноманітніших умовах експлуатації.

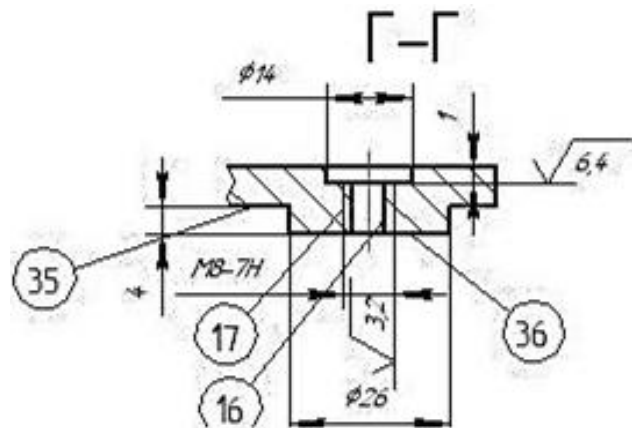
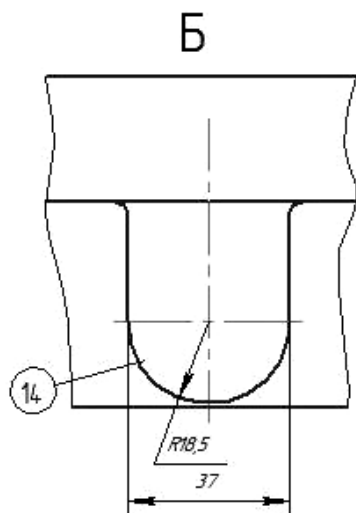
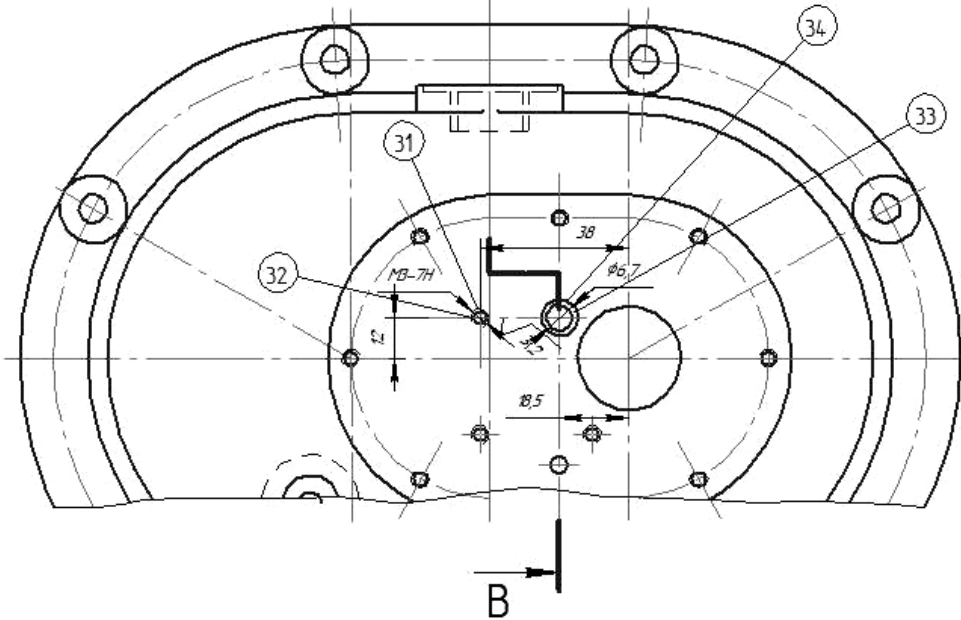
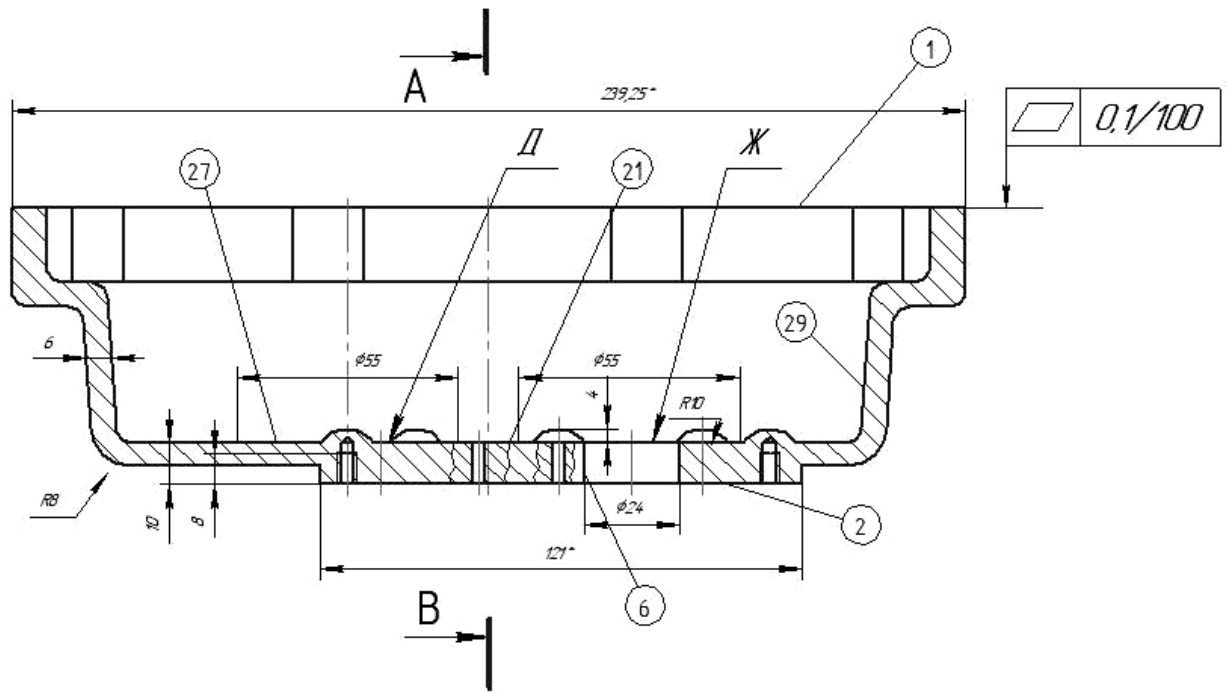
Таблиця 2 – Характеристика поверхонь деталі

№ пов.	Конфігурація та службове призначення поверхні	Розміри	Квалітет точності	Точність форми і розміщення	Шорсткість
1	2	3	4	5	6
1	Площина, основна конструкторська база	239.25x168	11	0.1/100	Ra 2.5
2	Площина, основна конструкторська база	121x80	14	-	Ra 2.5
3	Торець, вільна поверхня	26	11т	-	Ra 25
4	Зовнішня циліндрична поверхня. Вільна поверхня	40x201	11т	-	Ra 25
5	Площина (внутрішня) Основна конструкторська база	116x195	11т	-	Ra 25
6	Внутрішня циліндрична. Виконавча поверхня	Ø24x10	14	-	Ra 25
7	Внутрішня циліндрична. Виконавча (кріпильна поверхня)	Ø20.43	12	-	Ra 12.5
8	Внутрішня циліндрична. Виконавча (допоміжна база)	Ø32x10	12	0.05	Ra 12.5

					MP.ПМКм- 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5	6
9	Фаска. Виконавча (допоміжна база)	1.5x45	12	-	Ra 12.5
10	Внутрішня базова виконавча (кріпильна)	M22x1,5 -7H	7	0.05	Ra 3.2
11	Внутрішня циліндрична виконавча (кріпильна)	Ø6.7x6	14	-	Ra 2.5
12	Внутрішня циліндрична виконавча (кріпильна)	Ø14x1	12	-	Ra 12.5
13	Внутрішня різьбова виконавча (кріпильна)	M8-7H	7	-	Ra 3.2
14	Внутрішня сферична. Вільна поверхня	18.5x37	11т	-	Ra 25
15	Внутрішня сферична. Вільна поверхня	R10x4	11т	-	Ra 25
16	Внутрішня циліндрична. Виконавча поверхня	Φ6.7	14	-	Ra 25
17	Внутрішня різьбова виконавча (кріпильна)	M8-7H	7	-	Ra 3.2
18	Внутрішня циліндрична. Виконавча поверхня	Ø18x0.5	12	-	Ra 12.5
19	Внутрішня циліндрична. Виконавча (кріпильна). Допоміжна конструкторська база	Ø9x10	14	-	Ra 25
20	Внутрішня циліндрична. Виконавча поверхня	Ø3.3x10	14	-	Ra 25
21	Зовнішня плоска вільна поверхня	-	11т	-	Ra 25
22	Внутрішня циліндрична. Виконавча поверхня	Ø3.3x10	14	-	Ra 25
23	Внутрішня різьбова виконавча (кріпильна)	M4 -7H	7	-	Ra 3.2
24	Фаска. Виконавча допоміжна поверхня	0,5x60	12	-	Ra 12.5
25	Внутрішня циліндрична виконавча (кріпильна)	Φ3.3x10	14	-	Ra 25
26	Внутрішня різьбова виконавча (кріпильна)	M4-7H	7	-	Ra 3.2
27	Внутрішня циліндрична. Виконавча поверхня	40x189	11т	-	Ra 25
28	Внутрішня фасонна циліндрична. Допоміжна технологічна база.	20	11т	-	Ra 25

					MP.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ

Арк.

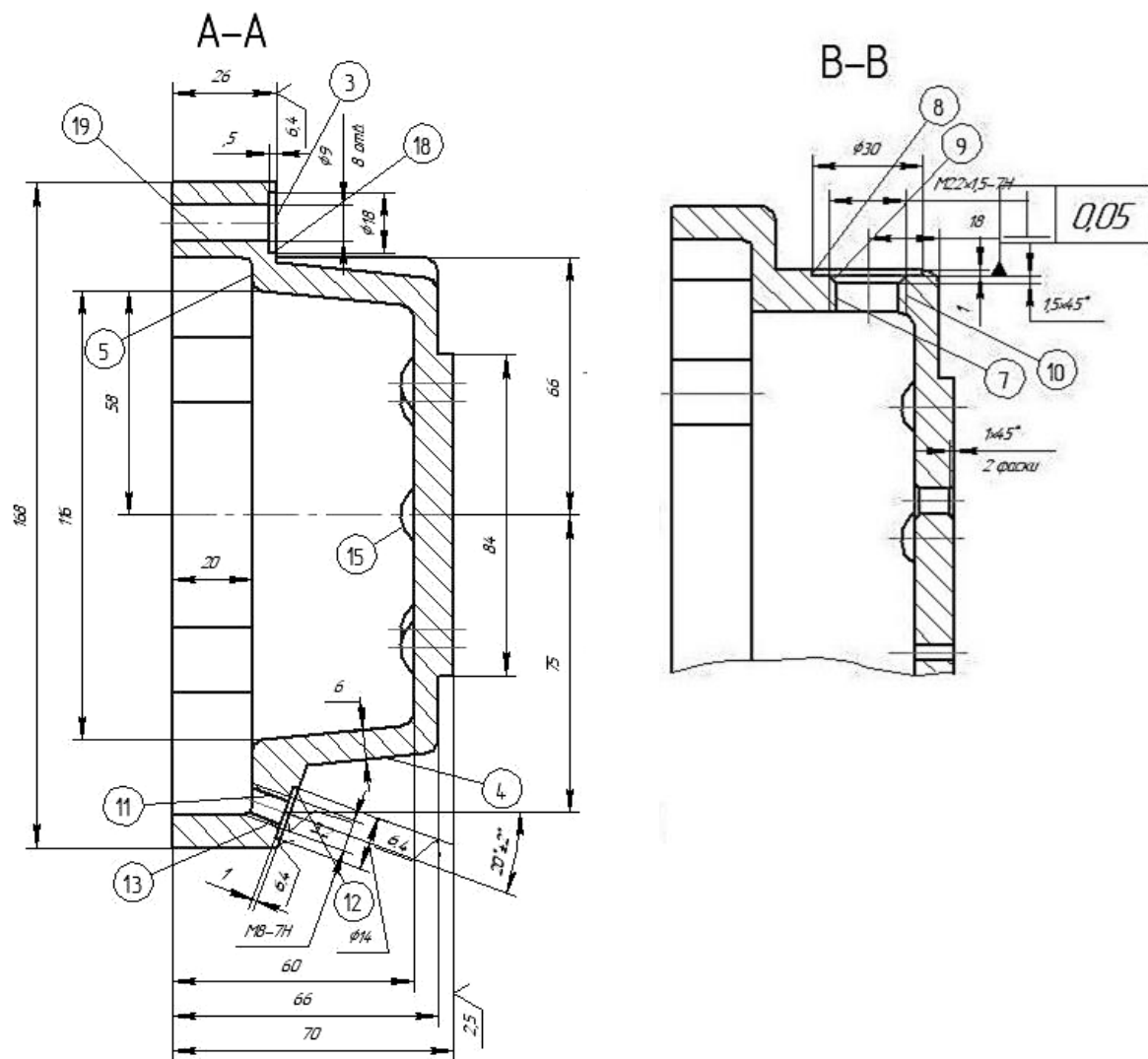


Рис. 1. – Ескіз деталі з нумерацією поверхонь

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності конструкції деталі по параметрам: отримання заготовки, точності, шорсткості, оброблюваність різанням.

Аналіз технологічності конструкції деталі передбачає її оцінку за окремими параметрами, такими як отримання заготовки, точність поверхонь, шорсткість і оброблюваність різанням. Цей процес дозволяє виявити можливості для оптимізації витрат матеріалів, енергії, часу та забезпечення необхідного рівня якості в умовах заданого типу виробництва.

1. Аналіз за параметром можливості виготовлення заготовки

Технологічність конструкції деталі з точки зору отримання заготовки визначається правильним вибором матеріалу і методу виготовлення. Основна мета – забезпечити мінімальні витрати ресурсів на виробництво та експлуатацію деталі, відповідно до заданих показників якості, обсягів виробництва і специфіки умов експлуатації.

У нашому випадку деталь, виготовляється із сірого чавуну марки Сч20, який відповідає корпусним виробам, найраціональнішим способом виготовлення заготовки є лиття у піщано-глиняні форми. Цей метод дозволяє досягти високої економічності в умовах середньо-серійного виробництва. Згідно стандартів, Сч20 належить до другої групи матеріалів, що характеризується доброю плинністю і придатністю до лиття.

Таким чином, за параметром виготовлення заготовки конструкція деталі можна вважати технологічно ефективною.

2. Аналіз за параметром точності

Технологічність деталі за параметром точності визначається вибором такого рівня точності обробки поверхонь, при якому забезпечується баланс між якістю готового виробу, витратами на виробництво і вимогами до експлуатації.

Проводим оцінку точність деталі по середній точності її поверхонь, за даними наведеними у таблиці 3

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3 – Оцінка точності та шорсткості по поверхнях деталі.

№ пов.	Уніфікація ni	Квалітет Ti	Добуток Ti · ni	Шорсткість, Шi	Добуток Шi · ni
1	2	3	4	5	6
1	1	11	11	Ra 2.5	2.5
2	1	14	14	Ra 2.5	2.5
3	1	14	14	Ra 25	25
4	1	11T(16)	16	Ra 25	25
5	1	16	16	Ra 25	25
6	1	14	14	Ra 25	25
7	1	12	12	Ra 12.5	12.5
8	1	12	12	Ra 12.5	12.5
9	1	12	12	Ra 12.5	12.5
10	1	7	7	Ra 3.2	3.2
11	1	12	12	Ra 12.5	12.5
12	1	14	14	Ra 25	25
13	1	7	7	Ra 3.2	3.2
14	1	16	16	Ra 25	25
15	1	12	12	Ra 12.5	12.5
16	1	14	14	Ra 25	25
17	1	7	7	Ra 3.2	3.2
18	1	12	12	Ra 12.5	12.5
19	1	14	14	Ra 25	25
20	1	16	16	Ra 25	25
24	8	14	112	Ra 25	200
25	8	7	56	Ra 3.2	25.6
26	1	16	16	Ra 25	25
27	1	16	16	Ra 25	25
28	1	16	16	Ra 25	25
29	1	16	16	Ra 25	25
30	1	7	7	Ra 3.2	3.2
31	1	14	14	Ra 25	25
32	1	14	14	Ra 25	25
33	2	12	24	Ra 12.5	25
34	1	14	14	Ra 25	25
35	1	16	16	Ra 25	25
Σ	$\Sigma ni=60$	-	$\Sigma Tini=725$	-	$\Sigma Шini=974.8$

Середню точність визначаємо:

$$T_c = \frac{\sum Tini}{\sum n}, (1,1) \quad T_c = \frac{\sum Tini}{\sum n} = \frac{725}{60} = 12,0833$$

					MP.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня точність поверхонь деталі відповідає високому рівню (12-й квалітет), що дозволяє обробляти більшість поверхонь за допомогою продуктивних методів на стандартних верстатах із середньою точністю. Такий підхід забезпечує ефективність обробки без необхідності використання високоточного обладнання.

Базування деталі під час обробки основних поверхонь зручно виконувати через встановлення її на опорну площину (поверхня 1) із застосуванням внутрішнього отвору як базової поверхні (поверхні 27 і 28). Цей метод базування є практичним та дозволяє забезпечити необхідну стабільність деталі під час обробки. Однак слід зазначити, що таке базування має обмеження – воно не забезпечує дотримання принципу постійності баз при обробці як внутрішніх, так і зовнішніх поверхонь. Незважаючи на це, розміри на кресленні вказані коректно, що полегшує дотримання технологічних параметрів.

Загалом, аналіз конструкції підтверджує, що деталь є технологічною з точки зору забезпечення точності та зручності обробки. Обрана конструкція дозволяє досягти оптимального поєднання точності, продуктивності та економічності виробничого процесу.

3. Аналіз за параметром шорсткості

Шорсткість поверхонь впливає на експлуатаційні властивості деталі, такі як зносостійкість, герметичність і тривалість служби. Для оцінки шорсткості слід враховувати, що функціонально важливі поверхні (наприклад, спряжувальні або контактні) мають шорсткість відповідно до вимог стандартів.

Визначаєм по середній шорсткості за формулою:

$$Ш_{\text{ср.}} = \frac{\sum Ш_{ini}}{\sum n_i}, \quad (1,2) \quad Ш_{\text{ср.}} = \frac{\sum Ш_{ini}}{\sum n_i} = \frac{974.8}{60} = 16,247$$

Середня шорсткість поверхонь цієї деталі є невеликою (приблизно K_n 12,5), що дозволяє виконувати обробку більшості поверхонь за допомогою

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високопродуктивних методів із мінімальними витратами ресурсів. Завдяки своїй геометрії, поверхні 1 та 2 доцільно обробляти методом точіння на токарних верстатах, що забезпечує високу ефективність процесу.

Деталь демонструє хорошу технологічність за рахунок високої жорсткості конструкції, зручності базування, а також забезпечення вільного доступу інструмента до оброблюваних зон. Це значно спрощує процес механічної обробки та підвищує її продуктивність.

Загалом можна зробити висновок, що з точки зору досягнення необхідних параметрів шорсткості поверхонь, дана деталь є технологічною. Її конструкція сприяє оптимальному поєднанню точності, економічності та зручності обробки.

4. Аналіз за параметром оброблюваності різанням

Матеріал Сч20 в порівнянні з сталевими має пониженою оброблюваність різанням, але дозволяє ефективно виконувати механічну обробку, зокрема фрезерування, свердління, різьбонарізання тощо. Чавун цієї марки характеризується достатньою твердістю і міцністю, що сприяє формуванню поверхонь з необхідною точністю і шорсткістю без значного зношування інструменту.

Це підтверджує задовільну технологічність, а саме придатність матеріалу для обробки на сучасному обладнанні з використанням високоточних інструментів.

Висновок

Аналіз технологічності конструкції деталі «Кришка передня фб8.040.001» показав, що: обраний метод виготовлення заготовки – лиття у піщано-глиняні форми – є найбільш раціональним; параметри точності та шорсткості забезпечують високу якість виготовлення і тривалу експлуатацію деталі; матеріал Сч20 добре піддається механічній обробці різанням, що забезпечує ефективність виробничого процесу.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, **конструкція деталі є технологічною та оптимальною** для серійного виробництва.

1.3 Визначення річної програми та кількості деталей в партії.

Таблиця 4 –Трудомісткість операцій

№ операцій	Назва операції	Тшт. хв
1	2	3
005	Токарна	2.337
010	Фрезерна	1.244
015	Свердлильна	1.928
020	Шліфувальна	1.035
025	Шліфувальна	1.669
030	Свердлильна	1.542
035	Свердлильна	0.768
040	Свердлильна	4.161
045	Свердлильна	0.716
050	Свердлильна	0.766
055	Свердлильна	1.472
060	Свердлильна	0.668
065	Різьбонарізна	0.639
070	Різьбонарізна	0.648
075	Різьбонарізна	0.665
Σ Тшт		20.258

Розрахунок річної програми випуску деталей

Середній штучний час:
$$T_{шт.сер} = \frac{\sum T_{шт.}}{n}$$

де $\sum T_{шт.}$ - сумарний штучний час; n=15-число операцій.

$$T_{шт.сер} = \frac{\sum T_{шт.}}{n} = \frac{20,258}{15} = 1,3505 \text{ хв.}$$

Такт випуску деталей: $t_g = k_c \cdot T_{ум.сер.}$

де k_c – коефіцієнт закріплення операцій у відповідності до ГОСТ 14.004-83 для середньо-серійного виробництва ($10 \leq k_c \leq 20$,). Приймаємо $k_c = 15$.

$$t_g = k_c \cdot T_{ум.сер.} = 15 \cdot 1,3505 = 20,258 \text{ хв.}$$

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річна програма випуску деталей, штук за рік: $N = \frac{F_d \cdot 60}{t_g}$

де F_d - дійсний річний фонд робочого часу устаткування. Приймаємо $F_g=4029$ годин.

$$N = \frac{F_d \cdot 60}{t_g} = \frac{4029 \cdot 60}{20,258} = 11933,0635 \text{ шт.} \text{ Прийнята } N=11340 \text{ шт.}$$

При груповій формі організації виробництва запуск деталей проводиться партіями з певною періодичністю. Кількість деталей в партії для

одночасного запуску: $n_p = \frac{N \cdot a}{F}$,

де a - періодичність запуску виробів $a=12$ (ст.23, табл.2.1[6]); F -число робочих днів у році $F=253$ дні.

$$n_p = \frac{11340 \cdot 12}{253} = 540.$$

Розрахункове число змін на обробку партії: $C_p = \frac{T_{ум.сер.} \cdot n_p}{F_0 \cdot 0.8}$.

У даній формулі 480-дійсний фонд часу робочого обладнання за зміну, хв. 0.8-нормативний коефіцієнт завантаження верстатів у серійному виробництві.

$$C_p = \frac{T_{ум.сер.} \cdot n_p}{F_0 \cdot 0.8} = \frac{1,3505 \cdot 540}{480 \cdot 0.8} = \frac{729,27}{384} = 1,8991 \text{ змін.}$$

Приймаємо кількість змін $C_p = 2$.

Кількість деталей в партії: $n_o = \frac{C_p \cdot F_0 \cdot 0.8}{T_{ум.сер.}} = \frac{2 \cdot 480 \cdot 0,8}{1,3505} = 568,67 \text{ шт.}$

Приймаємо $n_o = 540$ шт. деталей в партії.

На основі проведеного аналізу визначено річну програму виробництва, що забезпечує необхідний обсяг деталей для задоволення виробничих потреб. Розрахунок кількості деталей у партії враховував оптимізацію виробничого циклу, мінімізацію витрат на переналагодження обладнання та раціональне використання ресурсів.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, визначені параметри річної програми та розмір партії дозволяють досягти балансу між продуктивністю, економічністю та своєчасністю виготовлення деталей, що є важливим чинником для ефективного функціонування виробничого процесу.

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1. Аналіз базового технологічного процесу і розробка маршрутної технології

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки

Кришка передня має складну фасонну форму, але оскільки вона не піддається ударним навантаженням, найбільш раціональним матеріалом для її виготовлення є чавун. Через низьку пластичність чавуну та його несприйнятливості до обробки тиском, заготовки для таких деталей виготовляють методом лиття. Найпоширенішими способами є лиття в піщано-глинясті форми та лиття в оболонкові форми.

Метод лиття в оболонкові форми зазвичай застосовується для створення складних і відповідальних виливків масою до 150 кг. Однак, оскільки форма даної деталі не надто складна, а її ключові поверхні обробляються механічно, використання цього методу є економічно недоцільним.

Лиття в піщано-глинясті форми вважається більш економічним методом отримання заготовок, хоча воно й поступається в точності та якості поверхонь. Для підвищення якості виливків і продуктивності виробництва у проектному рішенні запропоновано замінити ручне формування суміші на масляне, а також використовувати металеві моделі замість дерев'яних.

Ці вдосконалення дозволяють значно зменшити припуски на механічну обробку, скоротити кількість технологічних операцій, зменшити витрати матеріалів та трудомісткість процесу. Як результат, досягається підвищення економічної ефективності та якості отримання заготовки.

Метод : Лиття в піщані форми

2.1.2 Вибір площини рознімання форми

Під час вибору площини рознімання необхідно враховувати низку вимог, визначених у джерелі ([1], стор. 10), зокрема:

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Уникати рознімання по похилих або ступінчатих площинах, оскільки це ускладнює виготовлення форми.
- Для виливків, що мають конфігурацію тіл обертання з оброблюваними зовнішніми та внутрішніми поверхнями, рекомендується заливати форму у вертикальному положенні, що забезпечує рівномірність заповнення і якість литва.

Зважаючи на рекомендації щодо вибору площини рознімання для форми, яка виготовляється для деталі «Кришка передня», було прийнято наступне рішення:

В якості площини рознімання обрано верхню горизонтальну площину деталі, з плавним переходом до діаметральної частини. Такий підхід забезпечує оптимальну технологічність процесу лиття та полегшує подальшу механічну обробку деталі.

2.1.2 Визначення класів точності розмірів і мас та ряди припусків на механічну обробку виливків.

Для лиття у піщано-глинясті форми, коли максимальний габаритний розмір вилівка становить до 630 мм, класи точності розмірів і мас, а також ряди припусків на механічну обробку визначаються наступними параметрами:

- Клас точності розмірів і мас виливків – від 6-го до 11-го;
- Ряд припусків – від 2-го до 4-го (згідно [1], стор. 11, табл. 2.3).

Для заданої деталі прийнято:

- Клас точності розмірів і мас – 9-й;
- Ряд припусків – 3-й.

Отже вибрані параметри відповідають оптимальним вимогам для забезпечення технологічності виготовлення та механічної обробки вилівка.

2.1.3 Визначення товщини стінок

Товщина стінок литих деталей визначається з урахуванням механічних та технологічних властивостей матеріалу, геометричної конфігурації,

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

габаритних розмірів деталі, а також методу отримання заготовки.

Для виготовлення заготовки деталі методом лиття в піщано-глинясті форми товщина стінок встановлюється відповідно до рекомендацій з таблиці 2.4 ([1], стор. 15):

- Мінімальна товщина стінки **H_{min} = 6,0 мм.**

Згідно з приміткою, для даної деталі прийнято товщину стінки **H = 6 мм**, що відповідає вимогам до механічної обробки та забезпечує міцність і технологічність виливка.

2.1.4 Призначення напусків

Аналізуючи креслення деталі призначаю напуски на:

1. Отвір. Ø 24;
2. Отвір різьбовий глухий М8-7Н;
3. На 8 отворів наскрізних Ø 9;
4. Отвір різьбовий наскрізний М22-7Н.

2.1.5 Визначення припусків та допусків на лінійні та діаметральні розміри.

Залежно від класу точності виготовлення виливків і прийнятого ряду припусків, відповідно до стандарту ГОСТ 26645–85, встановлюються основні та додаткові припуски, а також допустимі відхилення розмірів.

Розрахунок значень припусків і допусків для виливків представлено у таблиці №5.

Таблиця №5 – Розрахунок припусків та допусків для виливків

Розмір, мм	Квалітет	Клас точності	Допуск, мм	Основний припуск на сторону, мм	Додатковий припуск на сторону, мм	Кінцевий розмір, мм
1	2	3	4	5	6	7
239,25	14	9	2,8	-	-	239,25±1,4
168	14	9	2,8	-	-	168±1,4
116	14	9	2,4	-	-	116±1,2
121	14	9	2,4	-	-	121±1,2
84	14	9	2,2	-	-	84±1,1
70	14	9	2,2	3,2	-	76,4±1,1
66	14	9	2,2	3,2	-	69,2±1,1

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5	6	7
60	14	9	2,0	2,8	-	63,2±1,0
37	14	9	1,8	-	-	37±0,9
66	14	9	2,2	3,2	-	69,2±1,1
20	14	9	1,6	2,4	-	23,2±0,8
26	14	9	1,8	2,8	-	31±0,9
R10	14	9	1,4	-	-	10±0,7
4	14	9	1,1	-	-	4±0,55
R9	14	9	1,4	-	-	90,7

2.1.6 Визначення граничних відхилень зміщення і жолоблення.

Для лиття у піщані форми допустиме зміщення елементів виливка відносно площини рознімання становить $\pm 0,8$ мм (згідно таблиці 2.11 [1]).

Граничні відхилення жолоблення елементів виливка визначаються за даними таблиці 2.12 (стор. 23, [1]). Виходячи з відношення найменшого габаритного розміру до найбільшого ($31/239 = 0,129$), обираємо 6-й ступінь жолоблення. Для цього ступеня граничні відхилення жолоблення елементів виливка становлять $\pm 0,60$ мм.

2.1.7 Формувальні ухили.

Ливарні ухили є важливим елементом конструкції виливка, що забезпечує легке та безперешкодне вилучення заготовки з форми після затвердіння металу. Ці ухили призначаються на поверхнях заготовки для уникнення пошкоджень або дефектів, що можуть виникнути при витяганні виливка з форми, а також для зменшення зусиль, необхідних для цього процесу. Для даної заготовки ухили внутрішніх і зовнішніх стінок вибираються рівними 5%. (стор.25 [1]).

Таке значення ухилів дозволяє:

- Забезпечити оптимальну якість поверхонь заготовки без зайвих механічних дефектів;
- Полегшити процес розформування, що важливо для збереження точності розмірів і геометрії заготовки;

					MP.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Підвищити загальну продуктивність процесу лиття, зменшуючи час і зусилля, необхідні для вилучення деталі.

Отже, вибір ухилів у 5% є обґрунтованим та технологічно доцільним рішенням, яке забезпечує баланс між якістю вилівка та зручністю його виготовлення.

2.1.8. Призначення радіусів заокруглень

Одним із ключових факторів, які впливають на довговічність та надійність вилівка, є відсутність різких граней і кутів. В місцях переходу від однієї площини до іншої виникають концентрації напружень, що можуть призвести до мікротріщин, деформацій та зниження загальної міцності деталі. Щоб зменшити ймовірність утворення дефектів, необхідно запроєктувати радіусні заокруглення всіх гострих кутів і крайок.

При литті, особливо коли йдеться про деталі невеликої маси, вибір радіусів заокруглень безпосередньо впливає на якість поверхні та рівномірність розподілу металу під час заливання. За рекомендаціями технологічних таблиць (стор. 26, табл. 2.15, [1]) для деталей з необроблюваними поверхнями оптимальна величина радіусів заокруглення становить **4 мм**. Переваги радіуса заокруглень:

- Зниження концентрації напружень: Округлення усувають критичні точки, де можуть з'явитися мікротріщини.
- Покращення плинності розплавленого металу: Плавні переходи сприяють рівномірному заповненню форми та зменшують ризик виникнення раковин або повітряних порожнин.
- Спрощення механічної обробки: Заміна гострих кутів на заокруглення часто зменшує навантаження на інструменти при подальшій обробці.
- Покращення зовнішнього вигляду: Радіуси заокруглень надають деталі більш завершеного та сучасного дизайну.

Таким чином, призначення радіусних заокруглень із **R = 4 мм** для нашої вилівки із механо-необроблюваними поверхнями дає змогу оптимізувати литтєвий процес і забезпечити необхідний рівень міцності та якості деталі.

					MP.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.9 Розрахунок маси заготовки

У середовищі Autodesk Inventor для визначення маси та геометричних характеристик заготовки «Кришка передня» використовується вбудований механізм аналізу фізичних властивостей моделі (iProperties). Процес включає створення 3D-моделі заготовки, призначення відповідного матеріалу за ГОСТ 1412-85 та введення його фізичних параметрів (щільності, модулю пружності тощо). Після цього система автоматично обчислює масу, об'єм і площу поверхні деталі, а також координати центру мас.

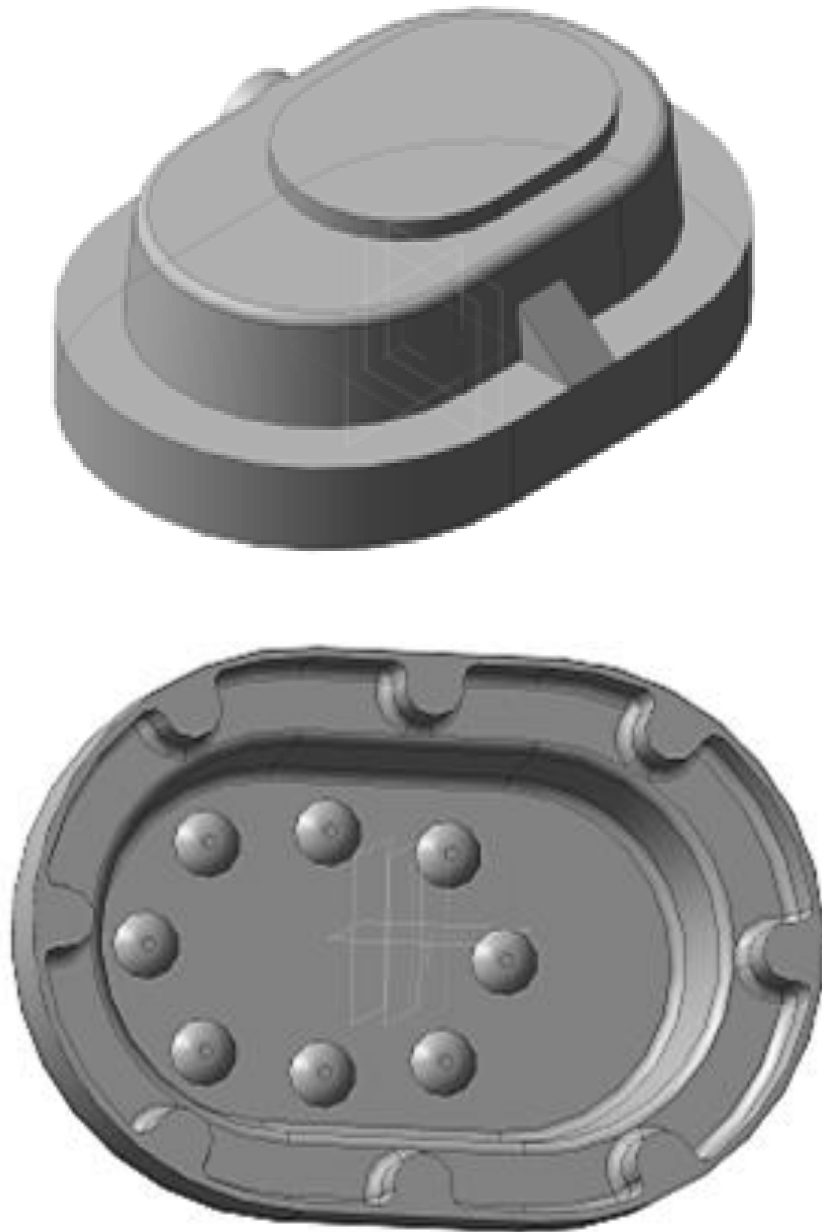


Рис 2. - 3D модель заготовки

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у **Autodesk Inventor** було створено 3D-модель заготовки з урахуванням необхідних припусків і ливарних ухилів. У розділі **iProperties** (вкладка **Physical** або **Фізичні властивості**) призначено матеріал СЧ20 зі щільністю 0,007200 г/мм³. Після оновлення (команда **Update**) програмне середовище виконує автоматичні обчислення й виводить значення маси, площі поверхні та координат центру мас.

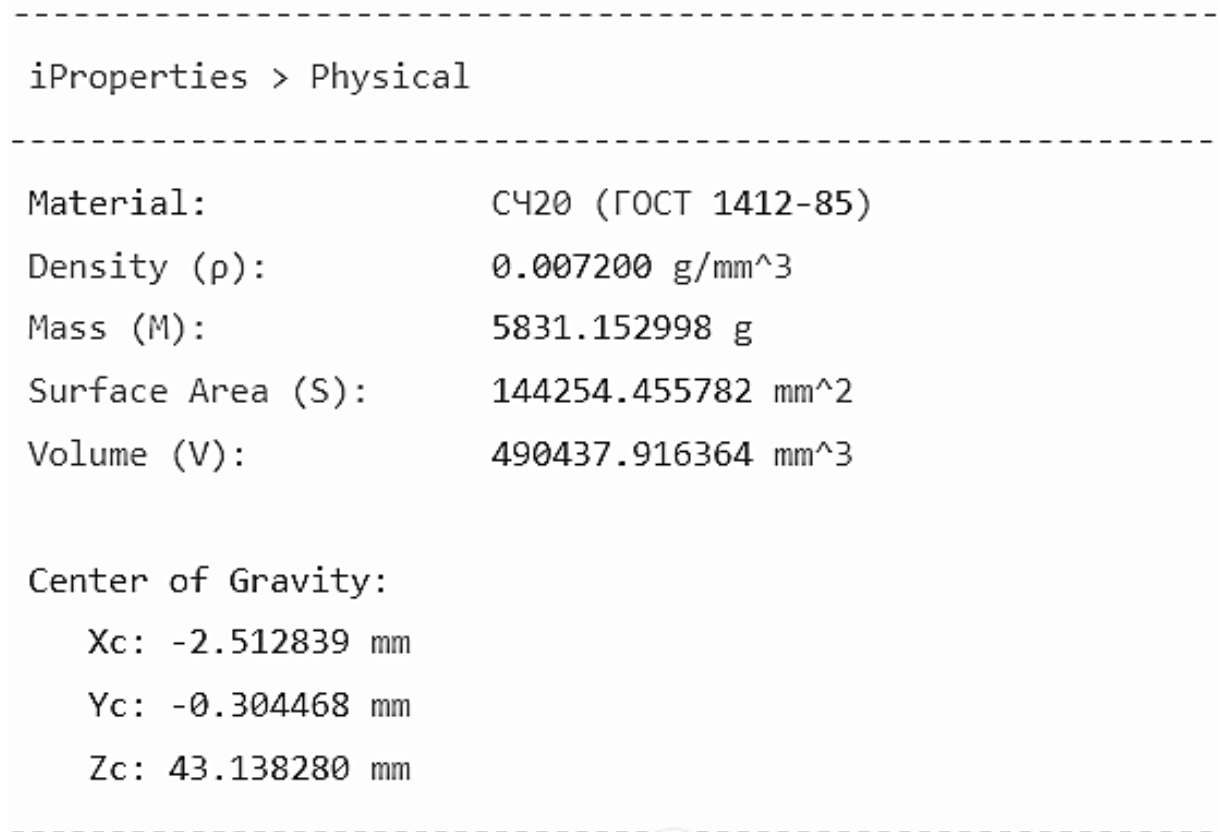


Рис 3. - Результати розрахунку маси заготовки

Використання **Autodesk Inventor** дав змогу оперативно отримати розрахункові характеристики заготовки та прийняти виважені рішення щодо її конструкції, розмірів припусків і подальшої механічної обробки.

2.1.10 Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу

Ефективність виробництва литих деталей значною мірою залежить від того, наскільки раціонально використовується вихідний матеріал. Для оцінки цього показника застосовують **коефіцієнт використання матеріалу (КВМ)**, який характеризує, яка частина маси заготовки перетворюється на кінцевий виріб.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$M_D = 4,075$ кг. – маса деталі (згідно креслення);

$M_3 = 5,831$ кг. – маса заготовки, кг. (визначена за розрахунками в попередньому пункті 2.1.9.)

$$K_M = \frac{M_D}{M_3} = \frac{4,075}{5,831} = 0,69$$

Таким чином, коефіцієнт використання матеріалу показує відношення маси готової деталі до маси початкової заготовки. Чим він вищий, тим меншою є кількість відходів виробництва і вищою — економічна ефективність.

Отже, близько 69,8% вихідної маси заготовки перетворюється на готову деталь, а решта припадає на відходи. Отриманий коефіцієнт використання матеріалу свідчить про досить високий рівень технологічності процесу.

2.1.11 Визначаємо затрати на матеріал одної заготовки

При проектуванні технологічного процесу лиття важливим етапом є розрахунок витрат матеріалу, необхідного для отримання однієї заготовки. Цей показник дає змогу оцінити економічну доцільність виробництва та планувати потребу у вихідній сировині для заданої програми випуску.

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{вд}}{1000}$$

де: Q – маса заготовки; S – ціна 1 кг матеріалу заготовки;

$S = 34$ грн/кг для Чугун СЧ20; $q = 4,075$ кг – маса готової деталі;

$S_{ом} = 2500$ грн/т – ціна 1 тонни відходів.

$$M = 5,831 \times 34 - (5,831 - 4,075) \times \frac{2500}{1000} = 491,245 \text{ грн,}$$

Отже зіставлення маси заготовки з вартістю вихідної сировини дає змогу оцінити економічну ефективність і визначити перспективи оптимізації виробництва. Отримані дані допомагають контролювати рівень використання матеріалу, планувати річну програму випуску та ухвалювати раціональні рішення щодо вдосконалення конструкції деталей і технології лиття.

					МР.ПМКм– 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

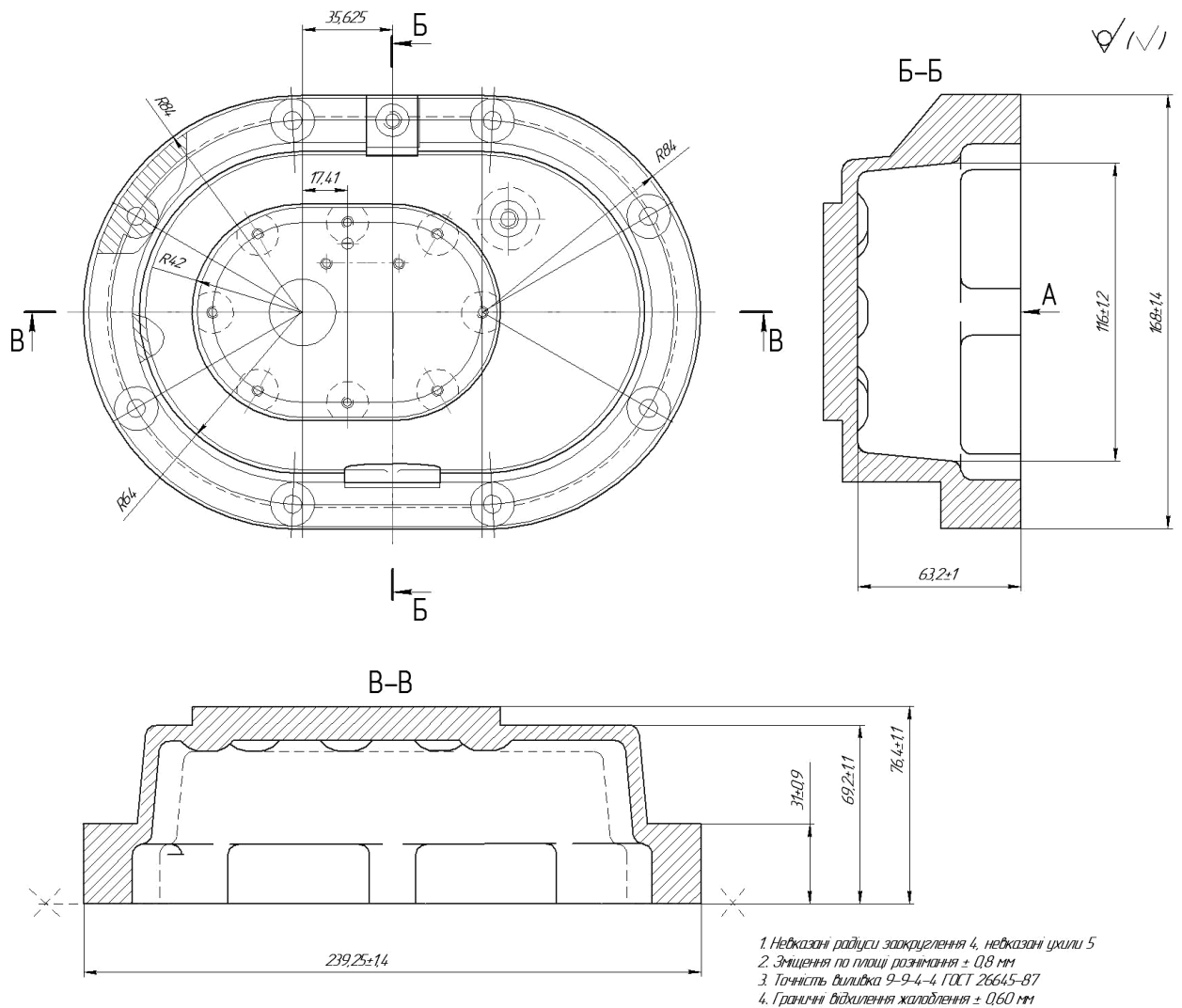


Рис. 4. - Ескіз заготовки (методом піщано глинисті форми).

Отже, за результатами порівняльного аналізу двох способів виготовлення заготовки в піщано-глиняних формах—базового методу з ручним формуванням та проектного варіанта з машинною формовкою—найбільш раціональним рішенням виявилось застосування автоматизованої технології. Під час ручної формовки суміші витрачається більше часу на підготовку та ущільнення матеріалу, а також вище ймовірність людського чинника, що може призвести до нерівномірності ущільнення чи недотримання розмірів. Водночас машинне формування дає змогу підтримувати стабільну якість форми, а також зменшити ризик виробничого браку.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, автоматизація істотно скорочує витрати часу та праці: циклічність і повторюваність операцій у машинному режимі забезпечують високу продуктивність і полегшують масштабування виробництва. Завдяки рівномірному ущільненню формувальної суміші вдається отримати виливки з більш точною геометрією й меншим припуском на механічну обробку. У підсумку, перехід до машинного формування в проєктному варіанті не лише покращує якість готової заготовки, а й знижує собівартість виробу за рахунок скорочення тривалості технологічного циклу і оптимізації трудових ресурсів.

					МП.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Опис вдосконаленого технологічного процесу

Базовий технологічний процес обробки деталі вже має високу продуктивність, проте деякі етапи можна вдосконалити. Зокрема, заміна ручного формування суміші на машинне зменшує припуски на обробку поверхонь 1 і 2, дозволяючи використати чорнове й чистове точіння (R_q 2,5 мкм; площинність 0,1/100) замість трудомістких методів. Для фрезерування поверхні 2 пропонується замінити шліфування на чистове фрезерування.

Щоб отримати отвори М4-7Н, доцільно застосувати свердлильний верстат із ЧПК, що виконує свердління, зенкування, нарізання різьби та додаткові операції за один установ — це знижує кількість переходів, покращує точність і скорочує ручну працю. Решта операцій базового процесу цілком придатні для серійного виробництва. Оновлений маршрут механічної обробки наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 - Вдосконалений технологічний процес

№	Назва та зміст операції	Модель верстату	Пристрій
1	2	3	4
005	Токарно-гвинторізна Точити деталь по овному фланцю, витримавши розмір 60.445 ± 0.23	JET GNB-1340A	Оправка центр I-4-Н ДСТУ8742-62
010	Універсально-фрезерна Фрезерувати площину В розмір $70.7596_{-1.2}$	TOP-Tech UF1500	Пристрій спеціальний
015	Вертикально-свердлильна 1.Свердлити 8 отворів $\Phi 9^{+0.2}$ на прохід 2.Зенкувати отв. $\Phi 9^{+0.2}$ до $\Phi 9^{+0.43}$ на глибину 0.5 ± 0.15	PROMA S-1832FN/400	Кондуктор
020	Токарно-гвинторізна Точити деталь в розмір $60 \pm 0.95\text{мм}$	JET GNB-1340A	Оправка центр I-4-Н ДСТУ 8742-62
025	Універсально-фрезерна Фрезерувати площину в розмір $40-0,74\text{мм}$ начисто	TOP-Tech UF1500	Пристрій спеціальний

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 7

1	2	3	4
030	<p>Свердлильна з ЧПК</p> <p>1.Свердлити з отворів $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм на глибину $10^{+0,2}$ мм і 2 отвори $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм на прохід</p> <p>2.Зенкувати фаску $0,5 \times 60^\circ$ в 10 отворах $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм</p> <p>3.Нарізати різьбу М4-7Н в 10 отворах $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм</p> <p>4. Свердлити отвір $\varnothing 3,3^{+0,3}$ мм на прохід</p>	HAAS VF-2	Пристрій спеціальний
035	<p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1.Свердлити отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм на прохід</p> <p>2.Свердлити отвір $\varnothing 24$ мм на прохід</p> <p>3. зенкувати отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ до $\varnothing 14^{+0,24}$ мм на глибину $1^{+0,12}$ мм</p> <p>4. Зенкувати фаску $1 \times 60^\circ$ в отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм</p>	Einhell TC-BD 630/1	Пристрій спеціальний
040	<p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1.Свердлити отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм на прохід під кутом 20°</p> <p>2.Зенкувати отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ до $\varnothing 14^{+0,24}$ мм на глибину $1^{+0,12}$ мм</p> <p>3. Зенкувати фаску $1 \times 60^\circ$ в отворі $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм</p>	PROMA S- 1832FN/400	Кондуктор
045	<p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1.Свердлити отвір $\varnothing 2,5^{+0,15}$ мм під різьбу М3-7Н</p> <p>2.Свердлити отвір $\varnothing 6,7^{+0,36}$ мм на прохід</p> <p>3.Зенкувати фаску $1 \times 45^\circ$ у двох сторін в отворі $\varnothing 6,7^{+0,36}$ мм</p>	Einhell TC-BD 630/1	Кондуктор
050	<p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1.Свердлити отвір $\varnothing 8^{+0,36}$ мм на прохід під різьбу М22-7Н</p> <p>2.Розсвердлити отвір с8 до $\varnothing 20,43^{+0,3}$ мм</p> <p>3.Зенкувати отвір $\varnothing 20,43$ до $\varnothing 32^{+0,62}$ мм на глибину 1-о, 25мм</p> <p>4.Зенкувати фаску $1 \times 45^\circ$ в отворі $\varnothing 20,43$ мм</p> <p>5.Нарізати різьбу М22\times1,5-7Н в отворі $\varnothing 20,43^{-0,3}$ мм</p> <p>6.Нарізати різьбу М8 в отворі $\varnothing 6,7$ мм на прохід</p> <p>7.Нарізати різьбу М8 в отворі $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм під кутом 20°</p> <p>8. Нарізати різьбу М3-7Н в отворі $\varnothing 2,5^{+0,15}$ мм</p>	Einhell TC-BD 630/1	Пристрій спеціальний
055	Контрольна	-	-

					MP.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка операційної технології

2.2.1 Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення технологічних розмірів

Для досягнення заданої точності та якості поверхонь у деталі «Кришка передня Ф68040.001» передбачено зняття припуску розрахунково-аналітичним методом. Цей підхід ураховує стан дефектного шару, допуск на мікронерівності від попередньої операції та похибку встановлення заготовки.

У межах визначеного маршруту обробки для розміру 60 мм застосовують чорнове й чистове точіння, а для розміру 70 мм — чорнове й чистове фрезерування. Усю інформацію про розрахункові припуски та проміжні технологічні розміри наведено в таблиці 8.

Таблиця 8 - Розрахунок припусків та граничних розмірів

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, МКМ				Допуск, Т, МКМ	Мінімальний та максимальний припуск		Граничні розміри, мм		Операційний розмір, мм
	Rz	T	ρ	E		Zi min, мм	Zi max, мм	lmin	lmax	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Заготовка	800		191,46	-	1200	-	-	61,316	62,516	61,916±0,6
Чорнове точіння	100	100	9,513	110	460	1,1015	1,8415	60,215	60,675	60,445±0,23
Чистове точіння	30	30	0,383	100	190	0,3096	0,5796	59,905	60,095	60±0,095
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Заготовка	800		191,46	-	1400	-	-	70,6911	72,0911	71,3911±0,7
Чорнове фрезерування	100	100	9,573	140	1200	1,13146	1,3315	69,5596	70,7596	70,7596-1,2
Чистове фрезерування	10	15	0,383	90	740	0,2996	0,7596	69,26	70	70-0,74

Сумарне значення просторових відхилень випивка визначаємо за наступною

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2}, \text{МКМ},$$

де $\rho_{кор}$ - величина короблення виливка, мкм;

$\rho_{зм}$ - величина зміщення стержня, мм; $\rho_{кор} = \Delta k \cdot L$, мкм,

де Δk - питома короблення, мкм/мм · k=0,8([4], ст.174);

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

L – найбільший розмір заготовки, мм; $L=239,25$ мм.

$$\rho_{кор} = 0,8 \cdot 239,25 = 191,4 (\text{мкм}) \quad \rho_{зм} = \Delta k \cdot l, \text{ мкм},$$

де l – довжина стержня, мм; $l=60$ мм;

$$\rho_{кор} = 0,8 \cdot 60 = 4,8 (\text{мкм}) \quad \rho = \sqrt{191,4^2 + 4,8^2} = 191,4602 (\text{мкм});$$

Величина залишкового просторового відхилення після чорнової обробки визначається за формулою: $\rho = 0,05 \rho = 0,05 \cdot 191,4602 = 9,573$ (мкм),

Величина залишкового просторового відхилення після чистової обробки:

$$\rho_2 = 0,002 \cdot 191,4602 = 0,3829 (\text{мкм}),$$

Величина залишкового просторового відхилення для чорного фрезерування: $\rho_3 = 0,05 \cdot 191,4602 = 9,573$ (мкм),

Величина залишкового просторового відхилення для чистового фрезерування: $\rho_4 = 0,002 \cdot 191,4602 = 0,3829$ (мкм),

Похибку установки заготовки визначаємо наступною формулою:

$$E_i = \sqrt{E_{\delta 1}^2 + E_{\delta 1}^2},$$

де $E_{\delta 1}$ - похибка базування по виконуваному переході, мкм;

$E_{\delta 1}$ - похибка закріплення по виконуваному переході, мкм;

Для чорного точіння, $E_{\delta 1}=0$; $E_{\delta 1}=110$ мкм, $E_1 = \sqrt{0^2 + 110^2} = 110$ (мкм)

Для чистового точіння. $E_{\delta 2}=0$; $E_{\delta 2}=100$ мкм. $E_2 = \sqrt{0^2 + 100^2} = 100$ (мкм)

Для чорного фрезерування. $E_{\delta 3}=0$; $E_{\delta 3}=140$ мкм, $E_3 = \sqrt{0^2 + 140^2} = 140$ (мкм)

Для чистового фрезерування, $E_{\delta 3}=0$; $E_{\delta 3}=90$ мкм, $E_4 = \sqrt{0^2 + 90^2} = 90$ (мкм)

Визначаєм її операційні припуски на технологічні відходи обробки поверхонь деталі.

Для чорного точіння. $Zimin=100+191,4602+110=1101,4602$ (мкм)

Для чистового точіння. $Zimin=100+100+9,573+100=309,573$ (мкм)

Для чорного фрезерування $Zimin=800+191,4602+140=1131,4602$ (мкм)

Для чистового фрезерування $Zimin=100+100+9,573+90=299,573$ (мкм)

					МР.ПМКм– 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімальні розміри для технологічних переходів визначаємо за наступною формулою: $l_{min_1} = l_{min_2} + z_{mini}$, мм

Для дет. на розмір 60 мм: $l_{min_{дет_1}} = l_{ном. дет_1} - Tl/2 = 60 - 0.19/2 = 39.905$ (мм)

Мінімальний розмір деталі після чорнового точіння:

$$l_{min_i_1} = 59,905 + 0,3096 = 60,2146 \text{ (мм)}$$

Мінімальний розмір заготовки: $l_{min_{заг.1}} = 60,21 + 1,1015 = 61,3161$ (мм)

$$l_{max_i} = l_{min_1} + Ti, \text{ мм,}$$

Для деталі на розмір 60 мм $l_{max_{дет.1}} = 59,905 + 0,19 = 60,095$ (мм)

Максимальний розмір заготовки після чорнового точіння:

$$l_{max_i} = 60,2146 + 0,46 = 60,675 \text{ (мм)}$$

Максимальні розміри заготовки: $l_{max_{заг.}} = 61,3161 + 1,200 = 62,5161$ (мм)

Для деталі на розмір 70мм: $l_{max} = 70$ мм;

(згідно вимог, які пред'являються дотичні відхилення на даний розмір рівне допуску на даний розмір).

Максимальний розмір заготовки після чорнового фрезерування:

$$l_{max_i} = 69,5596 + 1,200 = 70,7596 \text{ (мм)}$$

Максимальний розмір заготовки $l_{max_{заг.2}} = 70.6911 + 1,400 = 72,0911$ (мм)

Визначаємо максимальні припуски для технологічних переходів за наступною формулою: $z_{max_1} = l_{max_{i-1}} - i_{max_1}$, мм,

Для чистового точіння: $z_{max_i} = 60,6746 - 60,095 = 0,5796$ (мм)

Для чорнового точіння $Z_{max_i} = 62.5161 - 60.6746 = 1.8415$ (мм);

Для чорного фрезерування: $Z_{max_i} = 72.0911 - 70.7596 = 1.3315$ (мм);

Для чистового фрезерування: $Z_{max_i} = 70.7596 - 70 = 0.1596$ (мм);

Шукаємо номінальні розміри:

Для заготовки на розмір 60 мм: $L_{заг_1} = L_{заг_1 max} - Tl/2 = 62.516 - 1.2/2 = 61.916$ мм

Для чорного точіння: $L_1 = L_1 max - Tl/2 = 60.675 - 0.46/2 = 60.445$ (мм).

Для заг. на розмір 70 мм; $L_{заг_2} = L_{заг_2 max} - Tl/2 = 72.0911 - 0.4/2 = 71.3911$ мм

Для чорного фрезерування: $L_2 = L_2 max = 70.7596$ (мм).

Графічне розміщення припусків та допусків представлена на рис 1.2, 1.3.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

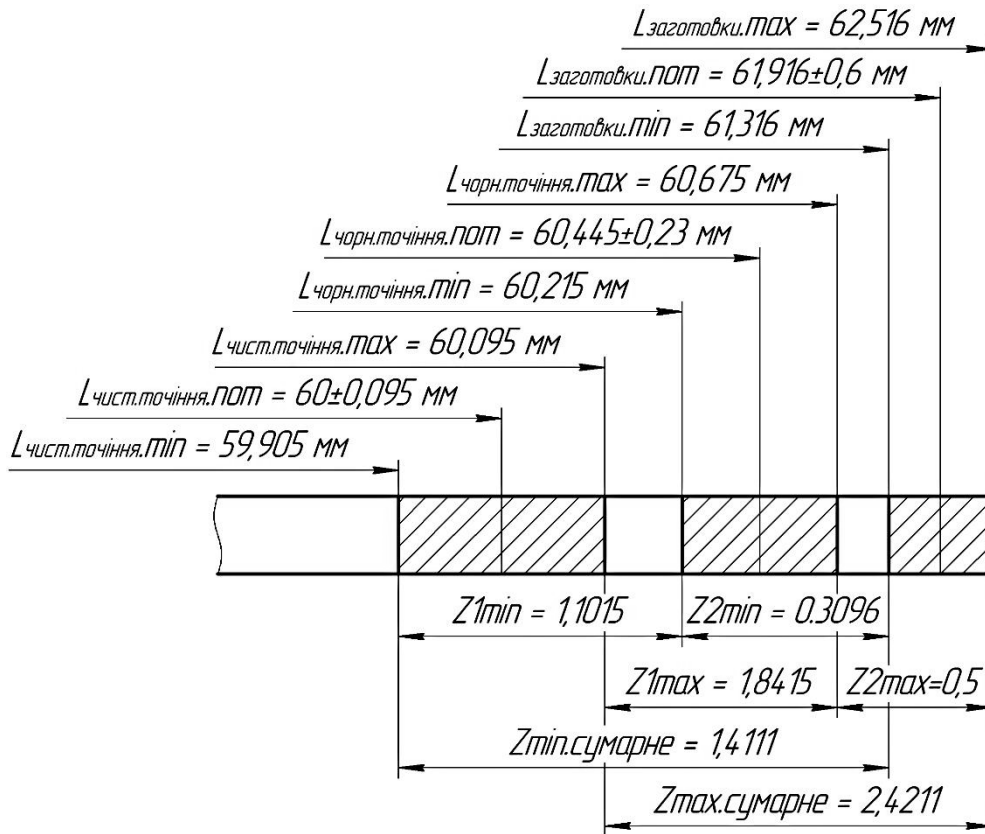


Рис 1.2. Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку (пов. 1.)

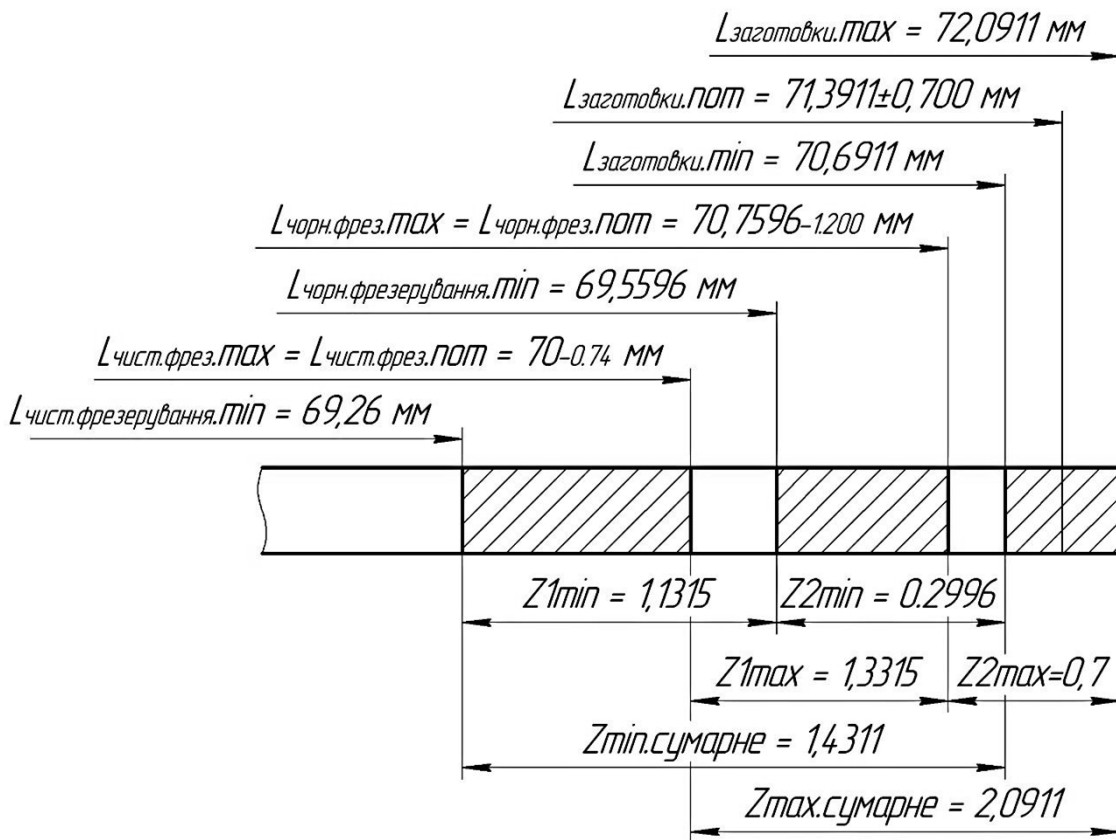


Рис. 1.3 Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку (пов.2.)

					МР.ПМКм- 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконуємо ескіз заготовки з врахованими припусками та допусками (рис 1.4)

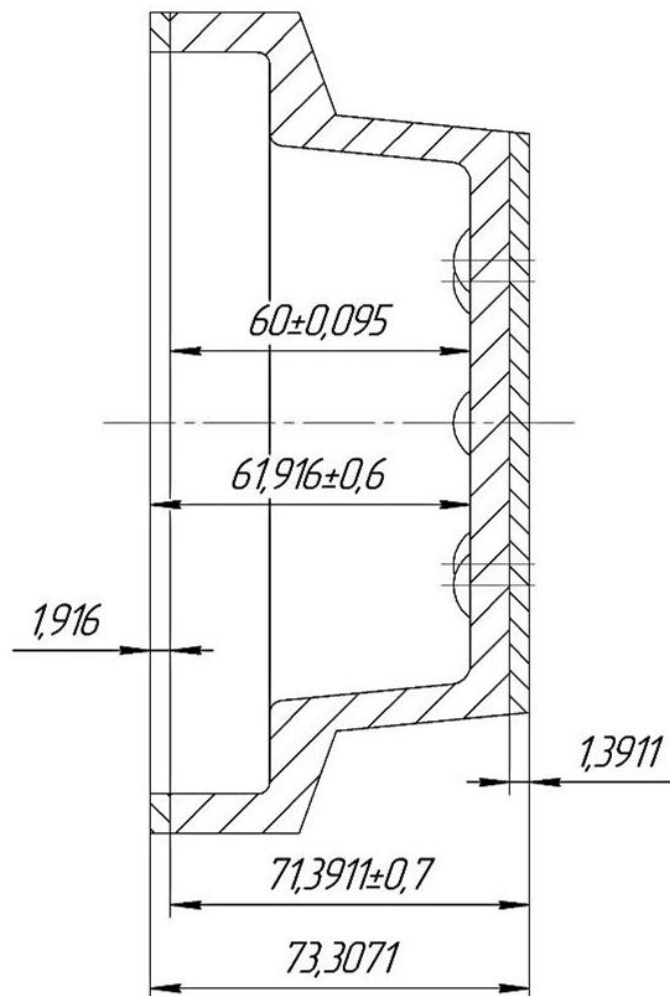


Рис 1.4 - Ескіз заготовки з врахованими припусками та допусками.

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Розрахунок режимів різання і уточнення моделей верстатів

2.2.2.1 Розрахунок режимів різання розрахунково-аналітичним і нормативним методом

Проводимо розрахунок режимів різання на чорнове точіння деталі витримавши розмір $60,445 \pm 0,23$ мм. Обробку деталі проводимо на токарно-гвинторізному верстаті моделі JET GHB-1340A. Для чорнкової обробки приймаємо різець токарний прохідний з пластикою з твердого сплаву ВК6 згідно ГОСТ10043-62 ([5], с.164. табл.16)

Геометрія різального інструменту: $H=20$ мм; $B=12$ мм, ([5], с.164. табл.16); $\gamma=12^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $m=7$ мм; $v=10$ мм; $\varphi=45^\circ$, ([5], с.188-190. табл.30-32)

Глибина різання $t=1,473$ (мм)

Визначаємо швидкість різання за наступною формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad \text{м/хв, (1.28)}$$

де $C_v=243$, $X_v=0.15$, $Y_v=0.4$, $m=0.2$, $S=1.0$ мм/хв ([5], с.418,423. табл.2,8)

$T=60$ хв. – стійкість інструменту;

K_v – уточнюючий коефіцієнт на швидкість різання;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi_1 v} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv} \cdot K_{ov}, \quad (1.29)$$

У даній формулі K_{mv} – коефіцієнт, який враховує якість оброблювального матеріалу;

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{1.25} = \left(\frac{190}{190} \right)^{1.25} = 1; \quad (1.30)$$

([5], с.426, табл.14)

K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv}=0.8$ ([5], с.426, табл.14)

K_{uv} – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини $K_{uv}=1,0$, ([5], с.426, табл.15)

$K_{\varphi v}$, $K_{\varphi_1 v}$, K_{rv} , K_{qv} - коефіцієнти, які враховують параметри різця (головний кут в плані, допоміжний кут в плані, радіус при вершині,

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поперечне січення державки). Для різців оснащений пластиками з твердого сплаву враховується тільки коефіцієнт $K_{\phi v}$, $K_{\phi v}=1,0$ ([5], с.426, табл.16)

K_{ov} – коефіцієнт, який враховує вид обробки, $K_{ov}=1,24$, ([5], с.427, табл.17)

$$\text{Тоді } K_v=1 \cdot 0,8 \cdot 1,01,24=0,992$$

$$V = \frac{243 \cdot 0.992}{60^{0.2} \cdot 1.473^{0.15} \cdot 1.0^{0.4}} = 100.2899 \text{ (м/хв)}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000V}{\Pi d}, \text{ хв}^{-1}, \quad n = \frac{1000 \cdot 100.2899}{\Pi \cdot 239.25} = 133.4306 \text{ (хв}^{-1}) \quad (1.31)$$

По паспортних даних верстату приймаємо $\tau=125\text{хв}^{-1}$

Тоді дійсно швидкість різання:

$$V = \frac{\Pi D n}{1000} = \frac{\Pi \cdot 239.25 \cdot 125}{1000} = 93.9533 \text{ (м/хв)}$$

Силу різання P_z визначаємо за наступною формулою:

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{x_z} \cdot S^{y_z} \cdot V^{n_z} \cdot K_{pz}, \text{ Н}, \quad (1.32)$$

де $C_{pz} = 92$, $X_z=1.0$, $y_z=0.75$, $n_z=0$, ([5], с.430, табл.20)

K_{pz} – поправочний коефіцієнт на силу різання

$$K_{pz}=K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{z p}, \quad (1.33)$$

де K_{mp} – коефіцієнт, який враховує вплив механічних властивостей на силу різання.

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{np}, \quad K_{mp} = \left(\frac{190}{190}\right)^{np} = 1, \quad (1.33)$$

$np = 0,4$ – показник степені, ([5], с.430, табл.22)

$K_{\phi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, $K_{z p}$ – коефіцієнти, які враховують вплив головного кута в плані, допоміжного, радіуса при вершині на силу різання

$K_{\phi p}=1,0$; $K_{\gamma p}=1,0$; $K_{\lambda p}=1,0$; $K_{z p}=1,0$; ([5], с.431, табл.24)

$$K_{pz}=9,892 \cdot 1,473^{1,0} \cdot 1,0^{0,75} \cdot 93,9633^0 \cdot 1,0=1330,7671 \text{ (Н)}$$

Кутний момент на сили верстату визначало за наступною формулою:

$$M_{kp} = 9.82 \cdot \frac{P_z \cdot V_y}{100} = 9.82 \cdot \frac{135.516 \cdot 93.9533}{100} = 1250.2996 \text{ (Н} \cdot \text{м)}, \quad (1.34)$$

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективну поточність різання визначаємо за формулою:

$$N_E = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60}, \text{ кВт}, \quad N_E = \frac{135.516 \cdot 93.9533}{102 \cdot 60} = 2.0804 \text{ (кВт)} \quad (1.35)$$

Основний машинний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L_{p.x}}{S_{xg}} = \frac{L + l_1 + l_2}{n \cdot s}, \text{ хв}, \quad T_o = \frac{119.625 + 1 + 1}{125 \cdot 1} = 0.973 \text{ (хв)} \quad (1.36)$$

де L – довжина обробки, $L=119,625\text{мм}$; l_1, l_2 – величина врізання та перебігу інструменту, $l_1 = l_2 = 1\text{мм}$.

З отриманих результатів бачимо, що верстат моделі 16К20 здатний забезпечити необхідні режими різання необхідні параметри точності та жорсткості та необхідну потужність різання.

Проводимо розрахунок режимів різання на чорнове фрезерування витримавши розмір 70,7396-1,2мм. Для чорнової обробки приймаємо інструмент фреза торцева посада з пластинами з твердого сплаву ВК6. Геометрія різального інструменту: $D=125\text{мм}$; $U=40\text{мм}$; $B=55\text{мм}$; $Z=8$ згідно ГОСТ 8529-69 ([5], с.245, табл.76)

Глибина різання $t=0,832\text{мм}$; $S_z=0,2$ ([5], с.438, табл.32)

Швидкість різання визначаємо за наступною формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v} \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot z^{p_z}}, \text{ м/хв}, \quad (1.37)$$

$C_v=445$, $q_v=0.2$, $[v=0.15$, $y_v=0.35$, $u_v=0.2$, $p_v=0$, $m=0.32$ ([5], с.442, табл.37), $T=180\text{хв}$, ([5], с.426, табл.38), $K_v=K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$ (1.38)
 $K_{mv}=1$, $K_{nv}=0.8$, $K_{uv}=1.0$ ([5], с.424-428, табл.9-15) $K_v=1 \cdot 0.8 \cdot 1=0.8$

$$V = \frac{445 \cdot 125^{0.2} \cdot 0.8}{180^{0.32} \cdot (0.632)^{0.15} \cdot 84^{0.2} \cdot 0.2^{0.35} \cdot 80} = 137.6642 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000V}{\Pi D} = \frac{1000 \cdot 137 \cdot 6642}{\Pi \cdot 125} = 350.5589 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно паспортних даних верстату приймаємо $n=320 \text{ хв}^{-1}$, тоді дійсна швидкість різання:

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = \frac{\Pi \cdot 125 \cdot 320}{1000} = 125.6637 \text{ (м/хв)}$$

Силу різання P_z визначаємо за формулою:

$$P_z = 9.82 \frac{C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot B^{w_p} \cdot z}{D^{q_p} \cdot n^{w_p}} K_p, \text{ Н,} \quad (1.39)$$

$$C_p=54.5, X_p=0.9, Y_p=0.74, y_p=1.0. w_p=0, q_p=1.0 \text{ ([5], с.445, табл.39)}$$

$$K_p = K_{MM} = \left(\frac{HB}{190} \right)^{np} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0.4} = 1, \text{ ([5], с.430, табл.21-22)}$$

$$P_z = 9.82 \frac{54.5 \cdot (0.632)^{0.9} \cdot 0.2^{0.74} \cdot 84^{1.0} \cdot 8}{125^{1.0} \cdot (320)^0} \cdot 1 = 578.5954 \text{ (кГ)}$$

Кутний момент на шпинделі верстата:

$$M = 9.82 \frac{P_z \cdot P}{2 \cdot 1000}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad M = 9.82 \frac{59.92001 \cdot 125}{2 \cdot 1000} = 36.162210 \text{ (Н} \cdot \text{м)} \quad (1.40)$$

Потужність різання визначаємо за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60}, \quad N = \frac{58.9201 \cdot 125.6637}{102 \cdot 60} = 1.2098 \text{ (кВт)}$$

Основний машинний час:

$$T_o = \frac{L_{px}}{n \cdot S_z} = \frac{84}{320 \cdot 0.2} = 1.3125 \text{ (хв)}$$

З отриманих результатів бачимо, що верстат моделі 6М13П здатний забезпечити необхідні режими різання, необхідні параметри шорсткості та точності та потужність різання.

Провадимо розрахунок режимів різання на операцію 015 – свердління 8 отворів $\varnothing 9^{+0,2}$ мм 12 прхід. Обробку деталі проводимо на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Б125.

Матеріал ріжучої частини інструменту ВК8 глибина різання $t=4,5$ мм $S=0.4$ мм 10б ([5], с.433, табл.27)

Визначаємо швидкість різання: $V = \frac{C_v \cdot D^{qv}}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S^{yv}} \cdot K_v, \text{ м/хв,} \quad (1.41)$

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, $K_v = K_{mv} \cdot K_{vv} \cdot K_{lv}$.
 K_{mv} , K_{vv} , K_{lv} – коефіцієнти, які враховують якість оброблювального матеріалу, інструментальний матеріал, глибину просвердлюваного отвору відповідно; $K_{mv}=1$, $K_{vv}=0,83$, $K_{lv}=1$, ([5], с.424,426,436, табл.8,14,30)

$$K_v = 0,83 \cdot 1 \cdot 1 = 0,83, C_v = 34,2, q_v = 0,45, x_v = 0, y_v = 0,3, m = 0,2, ([5], с.28 табл.28)$$

$$V = \frac{34,2 \cdot 9^{0,45}}{60^{0,2} \cdot 4,5^0 \cdot 0,4^{0,3}} \cdot 0,83 = 44,2859 \text{ м/хв},$$

Частоту обертання (форм. 1.31) $n = \frac{1000 \cdot 44,2859}{\pi \cdot 9} = 1,566 \cdot 2919 \text{ хв}^{-1}$

Приймаємо $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$

Тоді дійсно швидкість різання: $V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \cdot 9 \cdot 1250}{1000} = 35,3429 \text{ (м/хв)}$

Силу різання P_o визначаємо за формулою: $P_o = C_p \cdot D^{q_p} \cdot S^{y_p} \cdot K_p, \text{ Н} , (1.43)$

де $C_p = 42,7$, $q_p = 1,0$, $x_p = 0$, $y_p = 0,7$ ([5], с.436 табл.31) $K_p = K_{mp} = 1$, ([5], с.430 т.21)

$$P_o = 42,7 \cdot 9^{1,0} \cdot 1 \cdot 0,4^{0,7} \cdot 9,82 = 1987,1192 \text{ (Н)}$$

Кутний момент: $M = g \cdot C_m \cdot D^{q_m} \cdot S^{y_m} \cdot K_p, \text{ Н} \cdot \text{М}, (1.44)$

де $C_m = 0,0120$, $q_m = 2,2$, $x_m = 0$, $y_m = 0,3$ ([5], с.436 табл.31)

$$M = 0,012 \cdot 9^{2,2} \cdot 0,4^{0,3} \cdot 1 = 11,2518 \text{ (Н} \cdot \text{М)}$$

Потужність різання: $N = \frac{M \cdot n}{975}, \text{ кВт}, N = \frac{1,1458 \cdot 1250}{975} = 1,469 \text{ (кВт)} (1.45)$

Визначаємо основний машинний: $T_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} = \frac{26 + 3 + 3}{0,4 \cdot 1250} = 0,07 \text{ (хв)}$

Для решти операцій розрахунок режимів різання проводимо табличним методом.

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця режимів різання

Таблиця № 9

№ п/п	Назва та зміст операцій та переходів	D/B мм	L, мм	i	t, мм	n, хв ⁻¹	S _o , мм/об	S _{xв} , мм/об	V м ³ /хв	T _o хв	P, Н	N кВт	M Н·м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
005	Токарна Точити деталь по овальному фланцю витримавши розмір 60,455±0,23мм	239,25	119,625	1	1,473	125	1,0	125	93,9533	0,973	1330,7671	2,0804	1250,2996
010	Фрезерна Фрезерувати площину в розмір 70,7596-1,2мм	125	239,25	1	0,632	320	1,6	512	125,6637	1,3125	578,5954	1,2098	36,1622
015	Свердлильна 1. свердлити з отворів Ø9 ^{+0,2} мм на прохід	9	26	8	4,5	125	0,4	50	35,3429	0,56	1987,1192	0,2938	11,2518
	2.Зенкувати отвір Ø9 за Ø18 ^{+0,43} мм на глибину 0,5±0,15мм	18	0,5	8	9	250	0,75	187,5	14,1372	0,0213	3019,0608	1,35	51,7023
020	Токарна Точити деталь в розмір 60±0,095мм начисто	239,25	119,625	1	0,445	320	0,25	80	240,5203	1,5203	142,1396	0,5689	341,8745
025	Фрезерна Фрезерувати площину в розмір 40-0,74мм начисто	125	119,625	1	0,7596	320	0,5	160	125,6637	1,3125	578,5954	1,2098	36,1622

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ								Арк.	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										

Продовження таблиці №9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
030	Свердлильна з ЧПК 1.Свердлити з отворів $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм на глибину $10^{+0,2}$ мм і 2 отвори $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм на прохід	3,3	10	10	1,65	2000	0,2	400	20,7345	0,25	553,4945	0,2587	1,2383
	2.Зенкувати фаску $0,5 \times 60^\circ$ в 10 отворах $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм	5,0	10	10	0,5	1400	0,	420	21,9914	0,0104	838,628	0,5159	3,0874
	3.Нарізати різьбу М4-7Н в 10 отворах $\varnothing 3,3^{+0,08}$ мм	4	8	10	0,35	250	0,5	125	3,1416	0,5079	670,9024	0,0444	1,8904
	4. Свердлити отвір $\varnothing 3,3^{+0,3}$ мм на прохід	3,3	10	1	1,65	2000	0,2	400	20,7945	0,025	553,4945	0,2587	1,2383
035	Свердлильна 1.Свердлити отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм на прохід	6,7	10	1	3,35	1000	0,4	400	21,0487	0,025	123,7615	0,6139	5,8783
	2.Свердлити отвір $\varnothing 24$ мм на прохід	24	10	1	12	200	0,8	160	15,0796	0,0625	4025,414	2,0337	97,3584
	3. зенкувати отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ до $\varnothing 14^{+0,24}$ мм на глибину $1^{+0,12}$ мм	14	1	1	3,65	400	0,8	320	17,5929	0,0031	2348,1584	1,2426	29,0289
	4. Зенкувати фаску $1 \times 60^\circ$ в отвір $\varnothing 6,7^{+0,1}$ мм	8	1	1	1	125	0,4	50	3,1416	0,04	1341,8048	0,2267	8,6838

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ								Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									

Продовження таблиці №9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
040	Свердлильна 1.Свердлити отвір Ø6,7 ^{+0,1} мм на прохід під кутом 20°	6,7	10	1	3,35	1000	0,4	400	21,0187	0,025	1142,436	0,6139	5,8783
	2.Зенкувати отвір Ø6,7 ^{+0,1} до Ø14 ^{+0,24} мм на глибину 1 ^{+0,12} мм	14	1	1	3,65	400	0,8	320	17,5929	0,031	238,212	1,2426	29,0289
	3. Зенкувати фаску 1×60° в отворі Ø6,7 ^{+0,1} мм	8	1	1	1	125	0,4	50	31,1416	0,02	1361,64	0,0067	8,6838
045	Свердлильна 1.Свердлити отвір Ø2,5 ^{+0,15} мм під різьбу М3-7Н	2,5	10	1	1,25	2000	0,2	400	15,7079	0,025	419,314	5,1282	0,6717
	2.Свердлити отвір Ø6,7 ^{+0,36} мм на прохід	6,7	10	1	335	1000	0,4	400	21,0487	0,025	1123,7675	0,6139	5,8783
	3.Зенкувати фаску 1×45° у двох сторін в отворі Ø6,7 ^{+0,36} мм	8	1	2	1	125	0,4	50	3,1416	0,04	1341,8048	0,2267	8,6838
050	Свердлильна 1. Свердлити отвір Ø8 ^{+0,36} мм на прохід під різьбу М22-7Н	8	12	1	4	800	00,4	320	20,1062	0,0375	1123,7615	0,2267	8,6838
	2.Розсвердлити отвір с8 до Ø20,43 ^{+0,3} мм	20,43	12	1	10,215	250	0,9	225	16,04457	0,0533	1341,8048	5,2385	68,3128
	3.Зенкувати отвір Ø20,43 до Ø32 ^{+0,62} мм на глибину 1- о, 25мм	32	1	1	16	160	1,0	160	16,085	0,0663	3426,6301	5,2513	183,3325

Продовження таблиці №9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	4.Зенкувати фаску $1 \times 45^\circ$ в отворі $\varnothing 20,43 \text{ мм}$	24	1,5	1	1,5	200	0,8	160	15,0796	0,0093	5367,2192	2,0337	97,3584
	Різьба нарізна 1.Нарізати різьбу $M22 \times 1,5-7H$ в отворі $\varnothing 20,43^{+0,3} \text{ мм}$	22	10	1	0,785	250	1,5	375	17,2788	0,0267	3689,9632	5,6410	80,3973
	2.Нарізати різьбу $M8$ в отворі $\varnothing 6,7 \text{ мм}$ на прохід	8	8	1	0,65	250	1,25	312,5	6,2832	0,0256	1341,8048	0,0067	8,6838
	3.Нарізати різьбу $M8$ в отворі $\varnothing 6,7^{+0,1} \text{ мм}$ під кутом 20°	8	10	1	0,65	250	1,25	312,5	6,2832	0,0256	1341,8048	0,2267	8,6838
	4. Нарізати різьбу $M3-7H$ в отворі $\varnothing 2,5^{+0,15} \text{ мм}$	3	10	1	0,25	225	0,7	157,5	2,1206	0,0635	503,1768	0,0236	1,0036

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

2.2.2.2. Визначення норм часу та розцінок

Технічне нормування розробленого технологічного процесу здійснюється через визначення штучного та штучно-калькуляційного часу. Процедуру нормування проектного технологічного процесу розглядаємо на прикладі операції 005 — токарної обробки: чорнова обробка деталі до розміру $60,445 \pm 0,23$ мм.

Розрахунок штучно-калькуляційного часу для серійного виробництва проводимо за такою формулою:

$$T_{ш.к.} = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n_q}, \text{ хв}, \quad (1.56)$$

де $T_{шт}$ — штучний час, хв.; $T_{п.з.}$ — підготовчо-заклучний час, хв;

n_q — число деталей в партії, $n_q = 540$ шт;

Розраховуємо штучний час, хв

$$T_{шт} = T_o + T_q + T_{обс} + T_{пер}, \text{ хв}, \quad (1.57)$$

де T_q — допоміжний час, хв., $T_q = T_{вет} + T_k + T_{вим}$, хв, (1.58)

$T_{вет} = 0,27$ хв ([1], с.197, дод.5) $T_k = 0,02$ хв, $T_{вим} = 0,16$ хв ([1], с.208, дод. 5)

T_o — основний час обробки, $T_o = 0,973$ хв;

$$T_q = 0,27 + 0,02 + 0,16 = 0,45 \text{ (хв)}$$

$T_{обс}$ — час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{пер}$ — час нормативних перерв, хв;

В серійному виробництві $T_{обс}$ разом з $T_{пер}$ задається в процентах від оперативного ($T_{оп}$) часу.

$$T_{оп} = T_o + T_q, \text{ хв}, \quad (1.59)$$

$$T_{оп} = 0,973 + 0,45 = 1,423 \text{ (хв)}$$

Тоді $T_{обс} + T_{пер} = 0,07 \cdot 1,423 = 0,0996$ хв ([1], с.200, додаток 5)

$T_{шт} = 0,973 + 0,45 + 0,0996 = 1,5226$ (хв) $T_{п.з.} = 15$ хв ([1], с.215, додаток 5)

$$T_{ш.к.} = 1,5226 + \frac{15}{540} = 1,5504 \text{ (хв.)}$$

Для решти операцій механічної обробки технічне нормування проводимо табличним методом у форму таблиці 1.14

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зведена таблиця рахунку норм часу

Таблиця 10

№ опер.	Назва та зміст операції та переходів	Норми часу, хв										
		T _o	T _{вст}	T _к	T _{вим}	T _q	T _{оп}	T _{обс+} T _{пер}	T _{шт}	T _{п.з}	n _q	T _{шк}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
005	Токарна Точити деталь по овальному фланцю витримавши розмір 60,445мм	0,973	0,27	0,02	0,16	0,45	1,423	0,0996	1,5226	15	540	1,5504
010	Фрезера Фрезерувати площину в розмір 70.7596 ^{-1,2} мм	1,3125	0,08	0,03	0,16	0,27	1,5825	0,1108	1,6933	14	540	1,7192
015	Свердлильна 1.Свердлити 8 отворів Ø9 ^{+0,2} мм на прохід	0,56	0,12	0,03	0,11	0,26	0,82	0,0574	0,8774	9	540	0,9052
	2.Зенкувати отвір Ø18 ^{+0,43} мм на глибину 0,5±0,15мм	0,0213	0,12	0,03	0,11	0,26	0,2813	0,0197				
020	Токарна Точити деталь в розмір 60±0,095мм начисто	1,5203	0,27	0,02	0,16	0,46	1,9703	0,1379	2,1082	15	540	2,136
025	Фрезерна Фрезерувати площину в розмір 70-0,74мм на чисто	1,3125	0,08	0,03	0,16	0,27	1,5825	0,1108	1,6933	14	540	1,7192
030	Свердлильна з ЧПК 1.Свердлити 8 отворів Ø3,3 ^{+0,08} мм на глибину 10 ^{+0,2} мм і 2 отвори Ø3,3 ^{+0,01} мм на прохід	0,25	0,12	0,03	0,11	0,26	0,51	0,0357	2,3094	9	540	2,3261
	2.Зенкувати фаску 0,5×60° в 10 отворах Ø3,3 ^{+0,08} мм	0,0104					0,2704	0,0189				
	3.Нарізати різьбу М4-7Н в 8 отворах Ø3,3 ^{+0,08} мм на глибину 8 ^{+0,2} мм на прохід	0,5079					0,8679	0,0608				
	4. Свердлити отвір Ø3,3 ^{+0,3} мм на прохід	0,25					0,51	0,0357				

МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ

Арк.

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці №10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
035	Свердлильна 1.Свердлити отвір Ø6,7 ^{+0,1} мм на прохід	0,025	0,12	0,03	0,11	0,26	0,285	0,0199	1,2525	9	540	1,2692
	2. Свердлити отвір Ø24мм на прохід	0,0625					0,3225	0,0226				
	3.Зенкувати отвір Ø6,7 ^{+0,1} мм до Ø14 ^{+0,24} мм на глибину 1 ^{+0,12} мм	0,0031					0,2631	0,0184				
	4. Зенкувати фаску 1×60° в отворі Ø6,7 ^{+0,1} мм	0,04					4,3	0,021				
040	Свердлильна 1.Свердлити отвір Ø6,7 ^{+0,1} мм на прохід під кутом 20°	0,025	0,12	0,03	0,11	0,26	0,285	0,0199	1,0525	9	540	1,0692
	2.Зенкувати отвір Ø6,7 ^{+0,1} до Ø14 ^{+0,24} мм на глибину 1 ^{+0,12} мм	0,031					0,2631	0,0184				
	3. Зенкувати фаску 1×60° в отворі Ø6,7 ^{+0,1} мм	0,02					4,3	0,021				
050	Свердлильна 1. Свердлити отвір Ø8 ^{+0,36} мм на прохід під різьбу М22-7Н	0,0375	0,12	0,03	0,11	0,26	0,2120	0,0104	1,3480	9	540	1,3894
	2.Розсвердлити отвір с8 до Ø20,43 ^{+0,3} мм	0,0533					0,3225	0,0226				
	3.Зенкувати отвір Ø20,43 до Ø32 ^{+0,62} мм на глибину 1-о, 25мм	0,0663					0,2601	0,0114				
	4.Зенкувати фаску 1×45° в отворі Ø20,43мм	0,0093					4,301	0,0201				

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

Продовження таблиці №10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Різьба нарізна 1.Нарізати різьбу M22×1,5-7H в отворі Ø20,43 ^{-0,3} мм	0,0267	0,12	0,03	0,12	0,26	0,3806	0,027	2,4570	9	540	2,6404
	2.Нарізати різьбу M8 в отворі Ø6,7мм на прохід	0,0256					0,2806	0,017				
	3.Нарізати різьбу M8 в отворі Ø6,7 ^{+0,1} мм під кутом 20°	0,0256					0,3856	0,027				
	4. Нарізати різьбу M3- 7H в отворі Ø2,5 ^{+0,15} мм	0,0635					0,3846	0,0269				

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Аналіз точності обробки

Аналіз точності обробки проводимо для чистового точіння деталі в розмірі $60 \pm 0,095$ мм. Деталь закріплюють за допомогою оправки і підтислюють центром задньої бабки. Інструмент: токарний прохідний різець оснащений пластинкою твердого сплаву ВКЗ з геометрією рішучої пластини: $\varphi=45^\circ$, $\gamma=12^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $r=0.5$, ([5], с.188 табл.30, 32).

Обробку ведуть на заздалегідь настроєному верстаті, настроювання ведуть методом пробних деталей з використанням мікрометрів МК50-75. Ескіз обробки представлений на листі №2

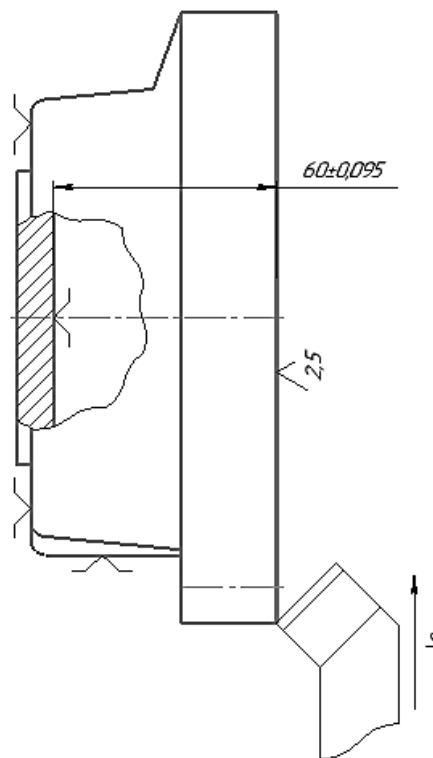


Рис. - Ескіз обробки

Основними похибками, що виникають при обробці поверхні і

впливають на точність розміру вимикаючої ланки технологічного розмірного ланцюга є:

Δv - похибка форми від геометричної неточності верстата в повздовжньому напрямку, $\Delta v = \Delta v' + \Delta v''$, мкм,

$\Delta v'$ - похибка форми зумовлена торцевим шпинделя в осьовому напрямку, мкм. $\Delta v' = 0,01$ мм ([4], с.233 табл.9).

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta v''$ - похибка форми зумовлена відхиленням осі шпинделя напрямним станка, горизонтальному напрямку, мкм. $\Delta v' = 0$ ([4], с.233 табл.9).

Δv - похибка настроювання вестами ВПД на тримання заданого розміру, мм.

$$\Delta v = 0,01 + 0 = 0,01 \text{ (мм)}$$

$$\Delta n = \sqrt{(\Delta_{\text{вим}})^2 + \Delta p^2}, \text{ мм}, \quad (1.47)$$

$\Delta_{\text{вим}}$ - похибка вимірювання, мм, $\Delta_{\text{вим}} = 0,04$ мм, ([4], с.67 табл.38).

Δp - похибка регулювання положення інструмента, мм, $\Delta p = 0,01$ мм,

$$([\text{4}], \text{ с.67 табл.38}). \Delta n = \sqrt{(0,04)^2 + (0,01)^2} = 0,0412 \text{ (мм)}.$$

Δy - похибка від зміни величини деформації ВПШД внаслідок зміни сили різання, зміною глибини різання, мм. $\Delta y = \omega \cdot \Delta p$, мм, (1.48)

$$\Delta P = P_x(t_{\text{max}}) \cdot P_x(t_{\text{min}}), \text{ Н}, \quad (1.49)$$

$\Delta P = P_x(t_{\text{max}}) \cdot P_x(t_{\text{min}})$ - максимальна та мінімальна осьова сила різання при максимальній і мінімальній глибині, Н.

$$t_{\text{max}} = 0.445 + 0.095 = 0.54 \text{ мм}, \quad t_{\text{min}} = 0.445 - 0.095 = 0.35 \text{ (мм)}$$

Осьову, силу різання визначаємо за наступною формулою:

$$P_x = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p, \text{ кг}, \quad (1.50)$$

K_p – уточнюючий коефіцієнт визначений у пункті 1.5.2.

$K_p = 1$; $C_p = 46$, $X_p = 1,0$, $Y_p = 0,4$, $n_p = 0$, ([5], с.429 табл.20). $S = 0.25$ ([5], с.420 табл.4).

$$P_{x_{\text{max}}} = 46 \cdot (0.54)^{1.0} \cdot (0.25)^{0.4} \cdot (240.5203)^0 \cdot 1 = 14.2668 \text{ (кг)}$$

$$P_{x_{\text{min}}} = 46 \cdot (0.35)^{1.0} \cdot (0.25)^{0.4} \cdot (240.5203)^0 \cdot 1 = 9.247 \text{ (кг)}$$

$$P_{x_{\text{max}}} = 14.2668 \cdot 9.8 = 140.1003 \text{ (Н)}$$

$$P_{x_{\text{min}}} = 9.247 \cdot 9.8 = 90.8058 \text{ (Н)}$$

$$\Delta P = 140.1003 - 90.8058 = 49.2945 \text{ (Н)}$$

з ([6], с.72 табл.27) визначаємо об.

При максимальному діаметрі обробки 250 мм

$$Y = 130 \text{ (мкм)}, \quad P = 2744 \text{ (Н)}.$$

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega = 130/2744 = 0.0473 \text{ (мкм/Н)}, \Delta y = \omega \cdot \Delta p = 0.0473 \cdot 2945 = 2.3335 \text{ (мкм)}$$

$$\Delta_{MH} = 1,2 \cdot \sqrt{\Delta H^2 + \Delta y^2} + \Delta \epsilon, \text{ мм}, \quad (1.51)$$

$$\Delta_{MH} = 1,2 \cdot \sqrt{0,0412^2 + 0,0023^2} + 0,01 = 0,05952 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо систематичні похибки:

i – похибка від розмірного спрацювання інструменту, мкм.

$$\Delta i = U_0 \left(1 + \frac{V \cdot \tau}{1000} \right), \text{ мкм}, \quad (1.52) \text{ де } U_0=6 \text{ ([9], с.40)}, \tau \text{ – біжучий час};$$

$$\Delta i = 6 \left(1 + \frac{240 \cdot 5203}{1000} \tau \right) = 6(1 + 0.2405 \tau),$$

$$\Delta T = 54 \cdot \frac{L_p}{F} \cdot V^{0.72} \cdot S^{0.72} \cdot t^{0.5} \cdot \left(1 - l^{\frac{-4\tau}{m}} \right) \cdot \frac{T_e}{T_o + T_{пне}}, \text{ мкм}, \quad (1.53)$$

де L_p – виліт різця, мм, $L_p=20$ мм; $t_m=24$ хв; F – площа попереднього перерізу державки, мм²;

$$F = H \cdot B = 20 \cdot 12 = 240 \text{ (мм}^2\text{)}, T_{пер} = 0,07 \cdot T_o \text{ ([1], с.214)},$$

$$T_{пер} = 0,07 \cdot 1,5203 = 0,1064 \text{ (хв)}, \text{ де } T_o = 1,5203 \text{ (хв)}$$

$$\Delta T = 54 \cdot \frac{20}{240} \cdot (240 \cdot 5203)^{0.72} \cdot (0.25)^{0.72} \cdot (0.445)^{0.5} \cdot \left(1 - l^{\frac{-4\tau}{24}} \right) \times$$

$$\times \frac{1.5203}{1.5203 + 0.1064} = 53.5741 \cdot \left(1 - l^{\frac{-4\tau}{24}} \right)$$

Підставивши значення ту формули 1,52 та 1,53 знаходимо значення похибок Δi та ΔT , які заносимо у таблицю 1.11

Таблиця 1.11 Результати розрахунків систематичних похибок

хв	0	2	4	8	10	16	20
мкм	0	8,886	11,772	17,544	20,43	29,088	34,86
T, мкм	0	15,1866	26,0682	39,4521	43,4533	49,8516	51,4413
$\Delta = \Delta i - \Delta T$	0	-6,3005	-14,2962	-21,9081	-23,0253	-20,7636	4,5067
Δi , хв		36	40		60	80	180
ΔT , мкм		57,948	63,72		92,58	121,44	236,88
T, мкм		53,4413	53,5059		53,5716	53,5740	53,5741
$\Delta = \Delta i - \Delta T$		4,5067	10,2141		39,0084	67,866	183,3059

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

По отриманих результатах будуємо діаграму точності, представлену на листі №2. технологічну стійкість визначаємо за перетином лінії А в з границею поля допуску, тобто коли $\Delta_{шт.} + \Delta_{мн}=190$, $\Delta_{шт} = \Delta_i - \Delta_t$;

З креслення визначаємо, що на проміжку $\Delta_i=120 \div 130$ $\Delta_t \approx 53,5741$, тоді

$$\Delta_{шт.} = 6(1+0,2425\tau) - 53,5741,$$

$$6(1,0+0,24052) - 53,5741 + 59,517 + 23,0253 = 190$$

$$6 + 1,443 \tau = 161,0318. \quad \tau = 107,4371(\text{хв})$$

Б технологічна стійкість складає $T_t = 107,4371 \text{хв}$ Оскільки $T_e < T_t$ та теоретичну діаграму зміщуємо на величину $\Delta_{зм}$ так, щоб загальна похибка обробки розстословувалась сили пряно до меж для допуску. При цьому $\Delta_{зм}$ визначаємо за формулою:

$$\Delta_{зм} = \frac{T - \Delta_{сум}}{2}, \text{ мкм}, \quad (1.51)$$

$$\Delta_{зм} = \Delta_{сист}(60) + \Delta_{мн} + \Delta_{сист \text{ min}}, \text{ мкм} \quad (1.52)$$

$$\Delta_{сум} = 39,0083 + 59,517 + 23,0253 - 121,5507 \text{ (мкм)}$$

$$\Delta_{зм} = \frac{190 - 98,5253}{2} = 45,7374 \text{ (мкм)}$$

Настроюваний розмір $l_{настр.}$ при силитрипопу Роташуванні поля розсіювання визначаємо за наступною формулою:

$$l_{настр} = l_{\text{min}} + 0,5\Delta_{мн} + \Delta_{сист \text{ min}} + \Delta_{зм}, \text{ мм} \quad (1.53)$$

$$l_{настр} = 59,905 + 0,0298 + 0,02303 + 0,04574 = 60,0036 \text{ (мм)}$$

Тривалість обробки до вимушеної зупинки різця визначаємо за наступною формулою:

$$T_{зм} = \frac{T_e(T_o + T_{пер})}{T_o}, \text{ хв}, \quad T_{зм} = \frac{60(1,5203 + 0,1064)}{1,5203} = 64,1992(\text{хв}) \quad (1.54)$$

Вклад первинних похибок обробки легальну похибку визначаємо за формулою $C_g = \frac{\Delta_g}{\Delta_{сум}} \cdot 100\%$; Δ_g - величина g- похибка, мм, (1.55)

Результати розрахунків питомого вкладу первинних похибок у загальну похибку заносимо у таблицю 1.12

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.12 Результати розрахунків питомого вкладу первинних похибок у загальну похибку обробки

Значення похибки, Δg	Δ_B	Δ_H	Δ_y	Δ_{MH}	Δ_i	Δ_T	$\Delta_{сист}$
Значення похибки, Δg , мм	0.01	0.0412	0.0233	0.0595	0.0926	0.0536	0.06203
%	8.227	33.8953	19.169	48.9508	76.1657	44.0721	51.0322

					МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Проектування керуючої програми обробки на верстаті з ЧПК

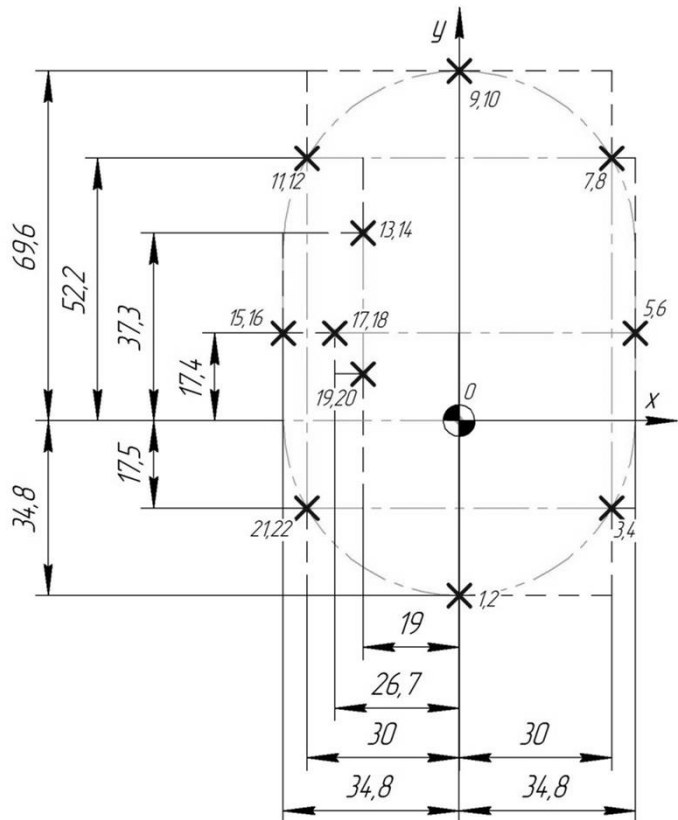
Розробляємо карту налагодження на операцію 030 – свердлильна з ЧПК на свердлильному верстаті моделі HAAS VF-2. Закріплення деталі на даному верстаті здійснюється за допомогою спец пристрою.

Визначаєм опорні точки:

Координати опорних точок
заносимо в табл.

Схема розташування початкової точки та
опорних точок

№	X	Y	Z
1	0	-34.8	0
2	0	-34.8	-16
3	30	-17.5	0
4	30	-17.5	-16
5	34.8	17.4	0
6	34.8	17.4	-16
7	30	52.2	0
8	30	52.2	-16
9	0	69.6	0
10	0	69.6	-16
11	-30	52.2	0
12	-30	52.2	-16
13	-19	37.3	0
14	-19	37.3	-16
15	-34.8	17.4	0
16	-34.8	17.4	-16
17	-26.7	17.4	0
18	-26.7	17.4	-16
19	-19	9.3	0
20	-19	9.3	-16
21	-30	-17.5	0
22	-30	-17.5	-16



Числові значення координат всіх точок та схема розташування представлені на карті налагодження. По даних координатах складаємо програму для обробки на верстаті з ЧПК моделі HAAS VF-2..

Таблиця 1.13. –Програма обробки

№	Зміст кадру	№	Зміст кадру
№001	% G17 M06 T001 LF	№055	G01 y+003600F18LF
№002	G25 x+000000 y+000000 z+025000LF	№056	x-001850LF
№003	G01 x-007300 F18 LF	№057	G81 z+00F17M08LF
№004	z+0072000 S12 M03 LF	№058	z+007200F18M09LF
№005	G81 z+006000 F17 M08 LF	№059	G01 x+001800F18LF
№006	z+007200 F18 M09 LF	№060	y+003117LF
№007	G01 y+003117 F18 LF	№061	G81 z+006950F17M08LF
№008	x-005500 LF	№062	z+007200F18M09LF
№009	G81 z+006000 F17 M08 LF	№063	G01 y+003600F18LF
№010	Z+007200 F18 M09 LF	№064	y+000000LF
№011	G01 y+003600F18LF	№065	G81 z+006950F17M08LF
№012	x-001850LF	№066	z+007200F18M09LF
№013	G81 z+006000F17M08LF	№067	G01 y-003117F18LF
№014	z+007200F18M09LF	№068	z+007200F18M09LF
№015	G01 x+001800F18LF	№069	G81 z+006950F17M08LF
№016	y+003117LF	№070	z+007200F18M09LF
№017	G81 z+006000F17M08LF	№071	G01 y+003600F18LF
№018	z+007200F18M09LF	№072	x-001850LF
№019	G01 x+003600 F18LF	№073	G81 z+006950F17M08LF
№020	y+000000LF	№074	z+007200F18M09LF
№021	G81 z+006000F17M08LF	№075	G01 x-005500 F18LF
№022	z+007200F18M09LF	№076	y-003117LF
№023	G01 y-003117F18LF	№077	G81 z+006950F17M08LF
№024	x+001800LF	№078	z+007200F18M09LF
№025	G81 z+006000F17M08LF	№079	G01 y+001900F18LF
№026	z+007200F18M09LF	№080	x-002700LF
№027	G01 y-003600F18LF	№081	G81 z+006950F17M08LF
№028	x-001850LF	№082	z+007200F18M09LF
№029	G81 z+006000F17M08LF	№083	G01 x+000100F18LF
№030	z+007200F18M09LF	№084	G81 z+006950F17M08LF
№031	G01 x-005500F18LF	№085	z+025000F18M09LF
№032	y-003117LF	№086	G01 x+000000LF
№033	G81 z+006000F17M08LF	№087	y+000000LF
№034	z+007200F18M09LF	№088	z+000000LF
№035	G01 y+001900F18LF	№089	G01 M06T003LF
№036	x-002700LF	№090	G25 x+000000 y+000000LF z+0250
№037	G81 z+006000F17M08LF	№091	G01 x-007300F18LF
№038	z+007200F18M09LF	№092	z+007200S06LF
№039	G01 x-000100F18LF	№093	G33 z-0006200F15LF
№040	G81 z+006000F17M08LF	№094	d016M00LF
№041	z+007200F18M09LF	№095	z+007200F12M04LF
№042	G01 x+000000LF	№096	G01 y+003117LF18M03LF
№043	y+000000LF	№097	x-005500LF
№044	z+000000LF	№098	G33 z+006800F15LF
№045	G17 M06 T002LF	№099	d016M00LF
№046	G25 x+000000 y+000000 z+025000LF	№0100	z+007200F12M04LF
№047	G01 x-007300F18LF	№0101	G01 y-003600F18M03LF
№048	z+007200S11M03LF	№0102	z-001850LF
№049	G81 z+006950F17M08LF	№0103	G33 z-0006200F15LF
№050	z+007200F18M09LF	№0104	d016M00LF
№051	G01 y+003117F18LF	№0105	z+007200F12M04LF
№052	x-005500LF	№0106	G01 x+001800F18M03LF
№053	G81 z+006950F17M08LF	№0107	y+003117LF
№054	z+007200F18M09LF	№0108	G33 z-0006200F15LF

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МР.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ				

Продовж. Табл. 1.13

№	Зміст кадру	№	Зміст кадру
№0109	d016M00LF	№0131	G01 y+001900F18M03LF
№0110	z+007200F12M04LF	№0132	x-002700LF
№0111	G01 y+003600F18LF	№0133	G33 z+005800F15LF
№0112	y+000000LF	№0134	d016M00LF
№0113	G33 z+0006200F15LF	№0135	z+007200F12M04LF
№0114	d016M00LF	№0136	G01 x+000100F18M03LF
№0115	z+007200F12M04LF	№0137	G33 z+005800F15LF
№0116	G01 y-003117F18M03LF	№0138	d016M00LF
№0117	x-001800LF	№0139	z+025000F12M04LF
№0118	G33 z+006800F15LF	№0140	G01 x+000000LF
№0119	d016M00LF	№0141	y+000000LF
№0120	z+007200F12M04LF	№0142	z+000000LF
№0121	G01 y-003600F18M03LF	№0143	G17 M06T004LF
№0122	z-001850LF	№0144	G25 x+000000 y+000000 z+025000LF
№0124	d016M00LF	№0145	G01 x-00185F18LF y+002600LF
№0125	z+007200F12M04LF	№ 0147	Z+007000 S12 M03 LF
№0126	G01 x-005500F18M03LF	№0148	G81 Z+0058 F17 M08 LF
№0127	y-003117LF	№0149	Z+025000 LF
№0128	G33 z-0006200F15LF	№0150	Y+000000 LF
№0129	d016M00LF	№0151	X+000000 LF
№0130	z+007200F12M04LF	№0152	M02

					MP.ПМКМ= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

3.1 Проектування верстатного пристрою

Приспосіблення для фрезерування площини деталі працює в комплекті з нормалізованим пневматичним столом з діафрагментним приводом МН 4662-63. Складається даний пристрій з корпусу 2 на який встановлюється плита 5. Приєднується даний пристрій пневматичного стола за допомогою стержня в якому нарізана різьба М 20x2.5-6д. Через степінь 7 сила яка створюється пневмокамерою на два кронштейни 4, які у свою чергу через два шарніри 9 діють на два прихвати пересувні 14, які притискають деталь до плити 5. Базування даної деталі здійснюється за допомогою 2 пальців 13, а для встановлення деталі служать опори 8.

3.1.2 Розрахунок сил затиску

Необхідна сила затиску фрезерного пристрою забезпечується нормалізованим діафрагментним станом з пневма приводом, а затиск деталі здійснюється за допомогою двох прихватів 14, які для створення необхідної сили тертя F_1 та F_2 повинні діяти на заготовку з силою P_1 та P_2 відповідна. Схема закріплення деталі та дії всіх сил представлена на рис2.1

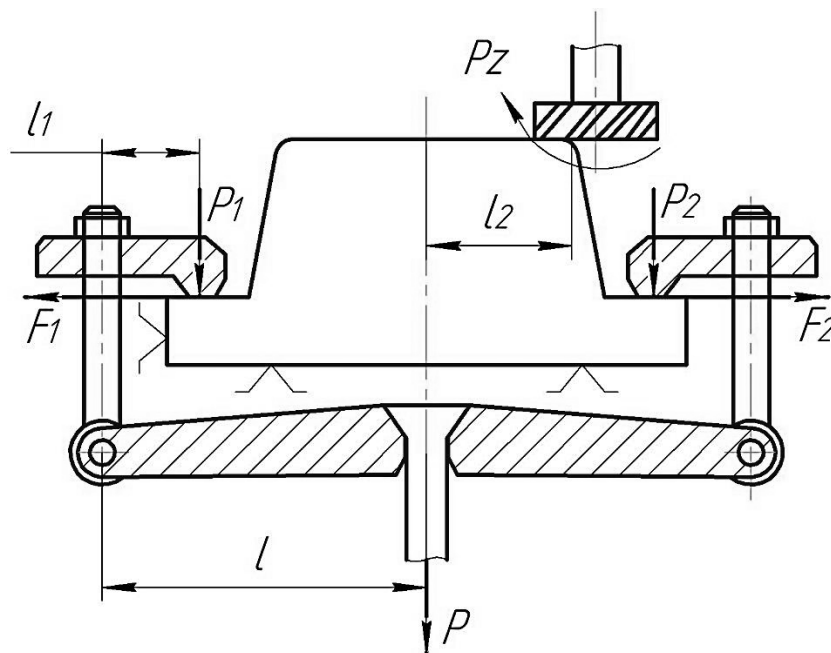


Рис 2.1-Схема закріплення заготовки та дії всіх сил.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідну силу затиску заготовки визначаємо при умові найнебезпечнішого розташування та різання в кінці обробки при $L_2 = \max$ виходячи з цього можна записати:

$$2 F_1 \cdot (L - L_1) \geq PZ \cdot L_2 \quad (2.1)$$

де $F_1 = F_2 = f \cdot P_1 = f \cdot P_2 \quad (2.2)$

$$2 \cdot P_2 \cdot (L - L_1) \geq PZ \cdot L_2 \quad (2.3)$$

З нерівності 2.3 визначаємо силу з якою прихват діє на заготовку для запобігання її повертання:

$$P_1 \geq \frac{PZ \cdot L_2}{2(L - L_1) \cdot f_1}, \text{ Н}, \quad (2.4)$$

Необхідне зусилля на штаці для створення сили P_1 визначаєм за наступною формулою:

$$P = \frac{2 \cdot L_1 \cdot P_1}{L} \cdot K, \text{ Н}, \quad (2.5)$$

Співставивши формули 2.4 і 2.5 отримаємо

$$P \geq \frac{PZ \cdot L_2 \cdot L_1 \cdot K}{(L - L_1) \cdot f_1 \cdot L}, \text{ Н}, \quad (2.6)$$

де K - коефіцієнт запасу міцності ,

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.7)$$

де K_0 -коефіцієнт гарантованого запасу, $K_0=1.5$

K_1 - коефіцієнт що враховує вид обробки $K_1=1.0$;

K_2 - коефіцієнт що враховує затуплення інструменту, $K_2=1.4$ (для фрезерування чавуну);

K_3 - коефіцієнт що враховує умови різання,

Для зустрічного фрезерування $K_3=1.0$;

K_4 - коефіцієнт що враховує стабільність сили закріплення . $K_3=1.0$ для пневматичних рушіїв;

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_5 - коефіцієнт, який враховує ергономіку ручних приводів, $K_5 = 1.0$;

K_6 - коефіцієнт який враховує кут розміщення ручки управління, $K_6 = 1.0$

$$K = 1.5 \cdot 1.4 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 2.1$$

$$P \geq \frac{578 \cdot 5954 \cdot 79 \cdot 40 \cdot 2.1}{(105 - 40) \cdot 0.12 \cdot 105} = 4688.1063, \quad (\text{Н})$$

Де сила P_z визначена у пункті 1.5.2 і становить:

$$P_z = 58.9201 \text{ кг} = 58.9201 \cdot 9.82 = 578.5954 (\text{Н})$$

Універсальний стіл з пневматичним діафрагментним приводом моделі 7304-0022 розвиває зусилля на штаці $R_{шт} = 19000 \text{ кг}$. З врахуванням ККД $R_{шт} = 19000 \cdot 0.9 \cdot 9.82 = 167922 (\text{Н})$.

Отже, стіл даної моделі здатний розвинути зусилля 16792.2 (Н) , яке більше від необхідного 4688.1063 (Н).

3.1.3 Силовий розрахунок слабких ланок механізму затиску

Найбільш навантаженими деталями пристосування для фрезерування площини є шарнір та прихват. Найбільшого навантаження шарнір зазнає у місці різьбового з'єднання.

Небезпечним у різьбовому з'єднанні є січення нарізаної частини з діаметром рівним внутрішньому діаметру різьби. Умови міцності при цьому визначаємо з наступного відношення:

$$s_p = \frac{4Q}{\pi d_1^2} \leq [s_p], \quad \text{МПа}, \quad (2.8)$$

де Q – осьове навантаження , яке приймаємо рівним мінімальному зусиллю на штаці , яке необхідне для затиску деталі. $Q = p = 4688.1063 (\text{Н})$.

d_1 = внутрішній діаметр різьби , $d_1 = 12 \text{ мм}$. Для різьби $M14 \times 1.5 = 6 \text{ д}$.

s_p – доступні напруження на розтяг,

$$s_p = \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 50 \text{ МПа} \quad (\text{для матеріалу Ст3}). \quad \text{Тоді, } s_p = \frac{4 \cdot 4688.1063}{\pi \cdot 12^2} = 41.452 (50 \text{ МПа}).$$

Отже, міцність слабкої ланки достатня.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.4 Розрахунок пристрою на точність

Розрахункова схема формування точності при обробці заготовки з виконанням розміру $H = 70_{-0.74}$ мм. Показана на рис 2.2. При обробці партії заготовок з автоматичним отриманням з розміру H і попереднім і попереднім розмірним налагодженням технологічної системи за допомогою еталона розмір H формується як замикаюча ланка технологічного розмірного ланцюга:

$$H = B + Y + Z - D_{12} - П,$$

де B – відстань між фрезою та столом верстата ,

Y – пружна деформація технологічної системи з дією сил різання ;

Z – зміщення сил базової поверхні заготовки під дією сил закріплення;

D_{12} – радіус фрези циліндричної. В даному випадку для торцевої фрези не враховується .

$П$ – відстань між базуючи ми поверхнями пристрою та площиною його основи.

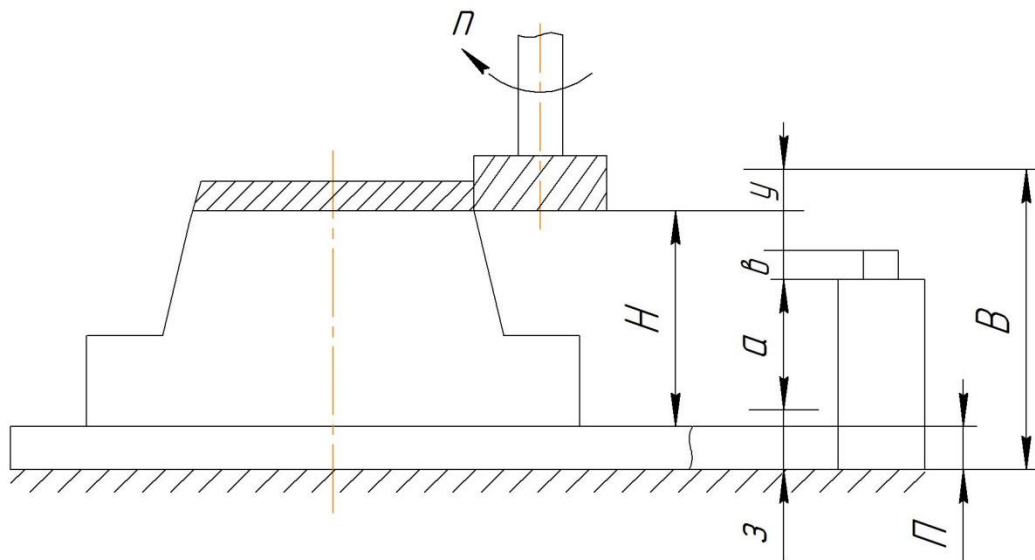


Рис 2.2 – Схема формування точності розміру $H = 70_{-0.74}$ мм.

Допустиму похибку пристрою визначаємо за наступною формулою:

$$[E_{np}] = T / 1.2 - \sqrt{(0.85 - E\delta)^2 + E Z^2 + (0.85w)^2} , \text{ мм}, \quad (2.10)$$

де $E\delta$ – похибка базування заготовки . $E\delta = 0$, оскільки технологічна і

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і вимірна бази співпадають; w – економічна точність методу обробки, $w = 0.14$ мм; $T = 0.74$ мм. E_3 – похибка закріплення. $E_3 = 0$ (основна складова сили закріплення направлена паралельно до горизонтальних виконавчих поверхонь опор і змінюється незначно для пневмоприводів).

$$[E_{np}] = 0.74/1.2 - \sqrt{0 + 0 + (0.85 - 0.14)^2} = 0.4977(\text{мм}).$$

Розмір еталона ($a + B$) пристрою визначаємо з розмірного ланцюга (рис.2.2);

$$H = 3 + a + B + y, \text{ мм},$$

де $H, 3, a, B, y$, - середні довжини відповідних ланок ланцюга.

Зміщення заготовок (3) внаслідок контактних інформацій на опорах пристрою визначає та за наступною формулою:

$$3 = (K_{RZ} \cdot R_z + K_{HB} \cdot HB + 0,4 + 0,012F) \cdot \left(\frac{R}{10}\right)^n \cdot \frac{1}{F^m}, \text{ мкм}, \quad ([8], \text{ с.35}) \quad (2.12)$$

де K_{RZ} і K_{HB} – коефіцієнти врахування шорсткості і твердості баз заготовки, $K_{RZ}=0,004$, $K_{HB}=0,0016$. R_z, HB – шорсткість твердість базових поверхонь заготовки, $R_z=125$ мкм, $HB=190$;

F - площа опори, см^2 ,

$$F = \frac{\Pi \cdot 168^2}{4} + 168 \cdot (37 + 36) = 34431,0778 \text{ (см}^2\text{)}$$

n і m показники степеня, $n - m = 0,7$;

$$3 = (0,004 \cdot 12,5 + 0,0016 \cdot 190 + 0,4 + 0,012 \cdot 34431,0778) \times \left(\frac{2000}{10}\right)^{0,7} \cdot \frac{1}{34431,0778^{0,7}} = 11,2662 \text{ (мкм)}.$$

Величину пружної деформації у технологічної системи знаходимо за формулою:

$$y = \omega_T \cdot P_B = (\omega_b + \omega_g + \omega_{np} + \omega_{in}) P_B, \text{ мкм}, \quad (2.13)$$

де ω – податливість технологічної системи,

$\omega_g, \omega_b, \omega_{np}, \omega_{in}$ – податливості елементів технологічної системи – верітота, деталі, пристрою та інструмента відповідно, мкм/Н

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Податливості деталі пристрою незначні і їх нехтуємо. $\omega_b=0,0862$ мкм/Н.

Податливість інструменту визначаємо за наступною формулою:

$$\omega_{in} = 9,3 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{L_o^3}{d_o^4}, \text{ мкм}, \quad (2.14)$$

де L_o і d_o – довжина і діаметр робочої частини провки, мм, $L_o = 647$ мм; $d_o = 20$ мм.

$$\omega_{in} = 9,3 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{647^3}{20^4} = 0,0986 \text{ (мкм/Н)}.$$

$$y = (0,0862 + 0 + 0 + 0,0986) \cdot 1000 = 184,8 \text{ (мкм)}$$

З формули 2.11 визначаємо розмір еталона:

$$a + v = H - z - y, \text{ мм}, \quad (2.15)$$

$$a + v = 69,63 - 11,2662/1000 - 184,8/1000 = 69,4339 \text{ (мкм)}$$

При розмірі щупа $V = 3 \pm 0.01$ мм. Розмір установка визначаємо наступним чином:

$$Q = 69.4339 - 3 = 66.4339 \text{ (мм)}.$$

Установ виконуємо за сьомим квалітетом точності. Отже $a = 66.4339 \pm 0.03$ мм.

3.1.5 Визначення рівня стандартизації пристрою

Коефіцієнт застосовування стандартних деталей та вузлів визначаємо за формулою:

$$K_{пр} = \frac{\sum_{заг} - \sum_n}{\sum_{заг}} \cdot 100\% \quad (2.16)$$

де $\sum_{заг} = 18$ – загальна кількість назв типорозмірів складових частин пристрою; $\sum_0 = 8$ – кількість назв типу розмірів оригінальних деталей та вузлів.

$$K_{пр} = \frac{18 - 8}{18} \cdot 100\% = 55.5556\%.$$

Отримане значення даного коефіцієнту свідчить про досить високий рівень стандартизації пристрою.

					МР.ПМКм– 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок контрольного пристрою

3.2.1 Опис та принцип роботи пристрою

Пристрій призначений для контролю площинності, деталь базується на оброблювальну поверхню яку потрібно контролювати. Пристрій складається з плити 1 з двох брусків 2 на яких базується деталь, стійка 3 на якій закріплений індикатор 11 за допомогою тримача 4, для правильного встановлення на плиті розміщені штифти 7, вони служать упорами.

В процесі контролю деталь встановлюється на бруси 2, і подається до упору, в якості якого служить штифти 7. В процесі контролю контрольована деталь діє на індикатор 11 через ніжку 5. Таким чином на індикаторі відображаються відхилення площинності.

Деталь базується по зовнішній циліндричній поверхні. Пристрій складається із плити 1, двох призм 2 та 3, важеля 5, та установу 9, стійки 15, та індикатора 16.

3.2.2 Розрахунок пристрою на точність

Сумарна похибка вимірювання визначається за формулою:

$$\Delta_{ВИМ} = 1,2 \cdot \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{3.В.}^2 + \Delta_e^2 + \Delta_m^2}, \quad (60)$$

ε_{δ} – похибка базування. Для нашого випадку при базуванні в підшипниках створюється ефект призми і $\varepsilon_{\delta} = 0$

ε_3 – похибка закріплення. $\varepsilon_3 = 0$, так як в процесі контролю деталь практично не закріплюється.

Δ_e – похибка виготовлення еталона для налагодження пристрою. $\Delta_e = 0$ – оскільки пристрій не потребує еталонного налагодження;

Δ_m – похибки, властиві для даного методу вимірювання; Сюди входить максимальний зазор між отвором ніжки 5 та пальця 6, який становить 0,02 мм. І похибка вимірювання індикатором. В нашому пристрої ми використовуємо індикатор з ціною поділки 0,01, а отже він буде давати похибку вимірювання 0,005. Тоді $\Delta_{ВИМ} = 1,2 \cdot \sqrt{0,02^2 + 0,005^2} = 0,02$ мм.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Аналіз розподілу залишкових напружень у зоні свердління заготовки під впливом осьового навантаження

Процес свердління є одним із ключових етапів механічної обробки, що формує отвори для подальшого функціонального використання деталей. Під час свердління виникають напруження та деформації, які впливають на точність, якість обробки та довговічність заготовки. Аналіз розподілу напружень і залишкових напружень у зоні свердління дозволяє визначити критичні зони, оптимізувати параметри процесу та зменшити ризик пошкоджень.

Метою цього дослідження є вивчення впливу осьового навантаження на розподіл напружень, концентрацію деформацій та залишкові напруження у заготовці з використанням інструментів Autodesk Inventor.

Об'єкт дослідження. Заготовка з матеріалу СЧ20, яка використовується для даного типу деталей.

Методи дослідження. Комп'ютерне моделювання в Autodesk Inventor для створення геометрії заготовки. Використання модуля Autodesk Inventor Nastran для виконання статичного аналізу процесу свердління:

- Задавання осьового навантаження як моделювання сили подачі.
- Налаштування контакту між свердлом і заготовкою.

Аналіз розподілу напружень, деформацій та залишкових напружень після завершення процесу.

Проведення аналізу

Рівняння напружено-деформованого стану. Для осесиметричної задачі в циліндричних координатах (r, z) , рівняння рівноваги без врахування обертання записується як:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r\sigma_r)}{\partial r} + \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial\tau_{rz}}{\partial r} = 0$$

де: σ_r — радіальні напруження, σ_z — осьові напруження, τ_{rz} — зсувні напруження.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Граничні умови. Контакт свердла із заготовкою. Сила подачі F_z розподіляється по контуру отвору: $\sigma_r|_{r=d/2} = \frac{F_z}{\pi dh}$

Вільна поверхня заготовки. Напруження відсутні: $\sigma_z|_{z=h} = 0$,
 $\tau_{rz}|_{z=h} = 0$

Центральна симетрія. У центрі: $\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}|_{z=0} = 0$, $\tau_{rz}|_{z=h} = 0$.

Матеріальні співвідношення. Для сірого чавуну СЧ20 використовуються моделі: Лінійно-пружний стан (до межі текучості): $\sigma = E \cdot \varepsilon$, де $E = 1.1 \cdot 10^5$ МПа - модуль пружності, $\nu = 0.28$ — коефіцієнт Пуассона. Пластичний стан. При напруженні вище межі текучості $\sigma_y = 150$ МПа, використовується модель ідеального пластичного матеріалу: $\sigma = \sigma_y$.

Залишкові напруження. Після зняття навантаження залишкові напруження розраховуються з використанням умов рівноваги та залишкових деформацій. Вони визначаються як: $\sigma_{зал} = \sigma_{пласт} - \sigma_{пруж}$.

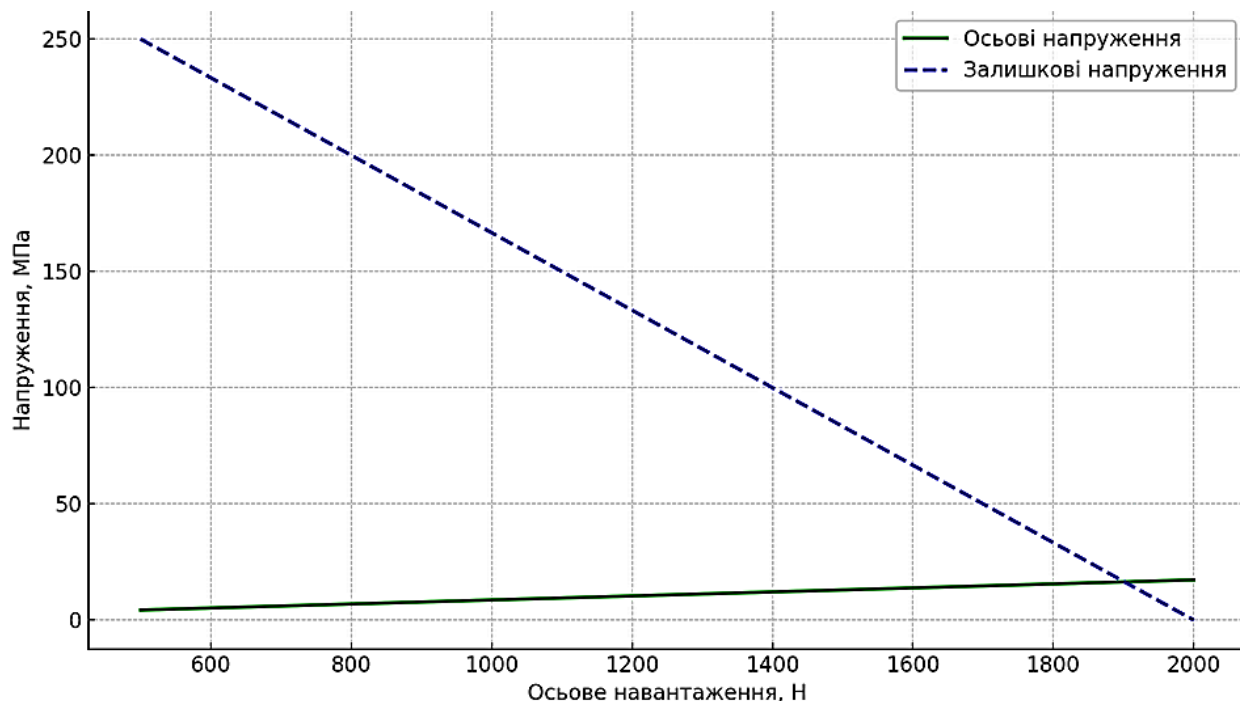


Рис. - Залежність осьових і залишкових напружень від осьового навантаження

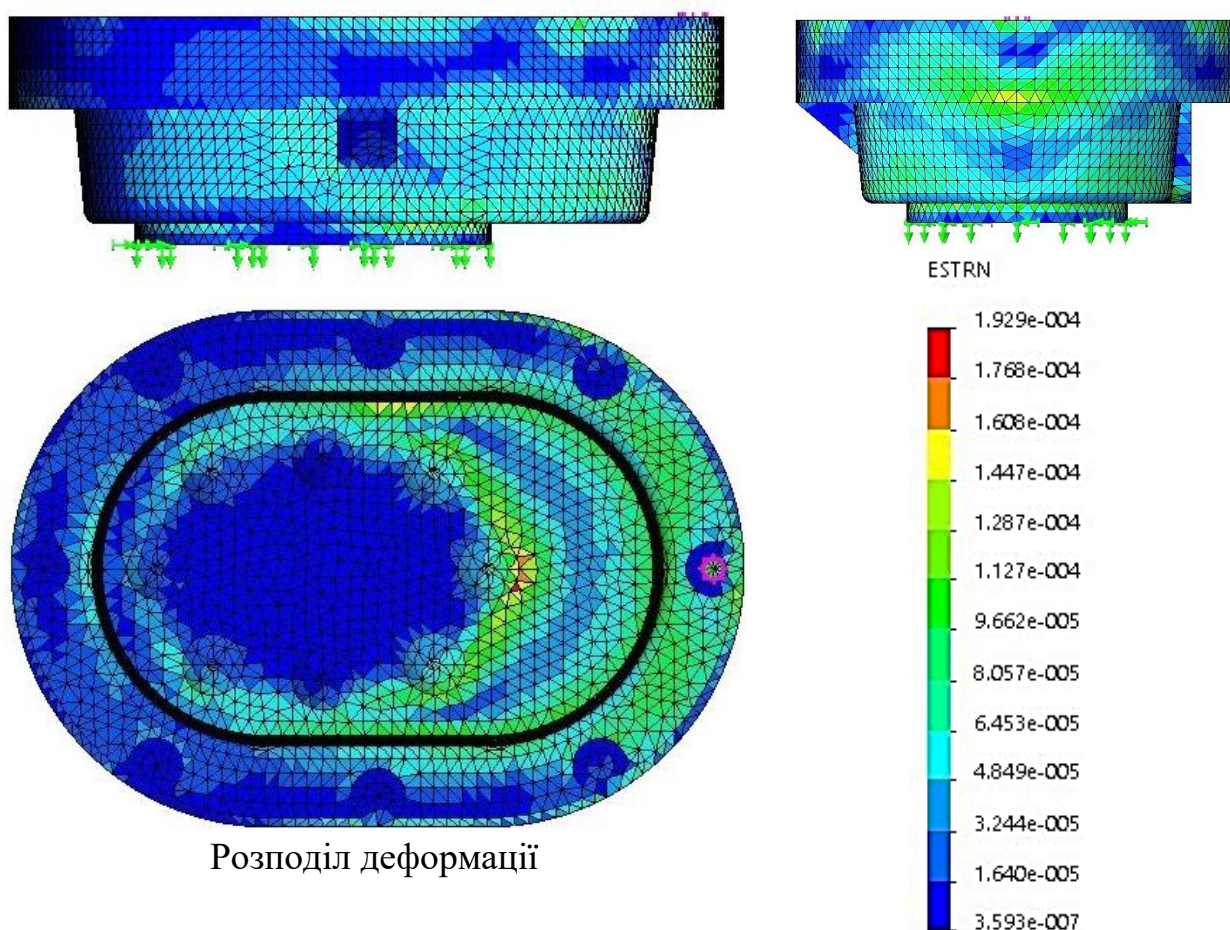
					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз в Autodesk Inventor.

Деформація — це зміна форми чи розмірів матеріалу заготовки через зовнішнє навантаження. Вона поділяється на два основні типи:

Пружна деформація. Відбувається при напруженнях, що не перевищують межу текучості матеріалу. Повністю зникає після зняття навантаження.

Пластична деформація. Виникає, коли напруження перевищують межу текучості. Є необоротною, залишаючи залишкові напруження після зняття зовнішнього навантаження. Основна зона пластичних деформацій розташована поблизу внутрішньої поверхні отвору.



Розподіл деформації

Деформації концентруються в зоні свердління. Чим більша сила подачі, тим вища ймовірність нерівномірного розподілу матеріалу.

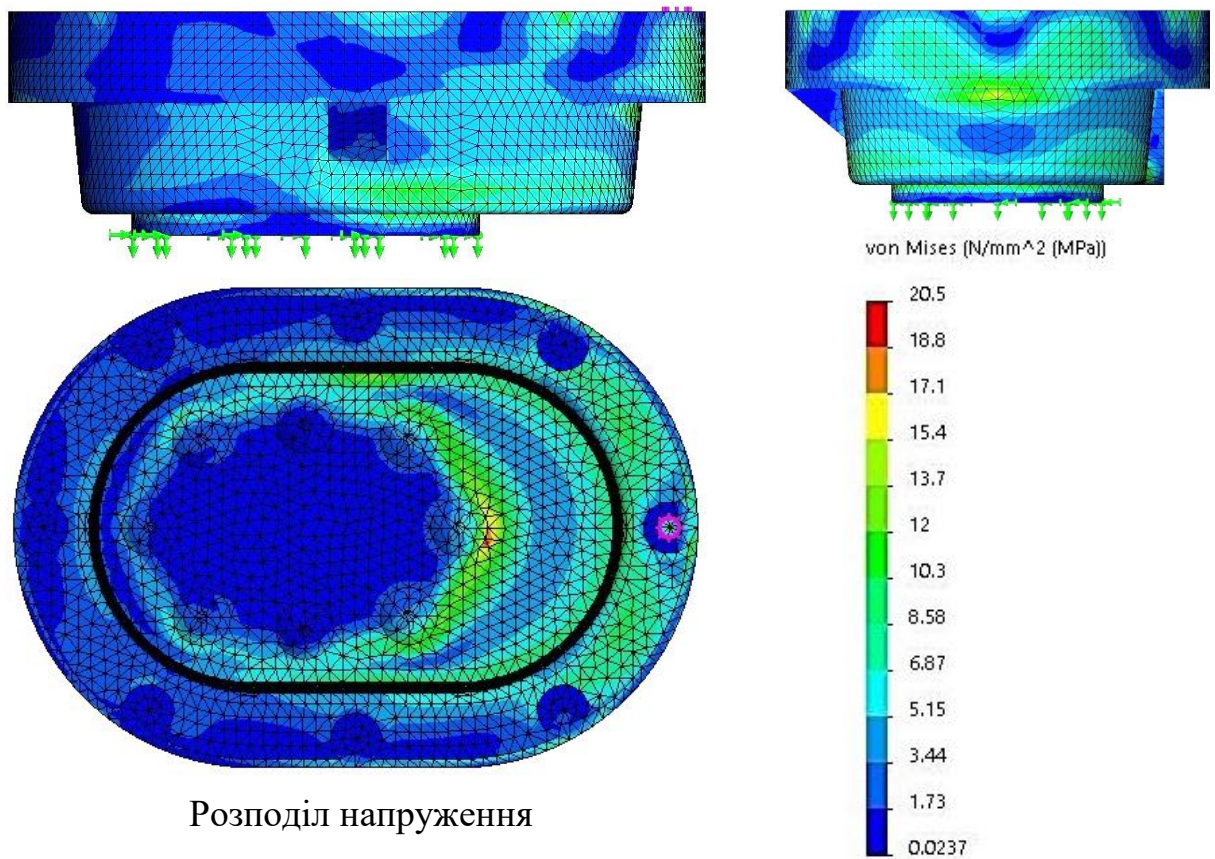
Напруження — це внутрішні сили, що виникають у матеріалі заготовки під впливом зовнішнього навантаження. У процесі свердління основними є такі типи напружень:

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Осьові напруження. Зумовлені осьовим навантаженням від подачі свердла. Досягають максимуму в зоні контакту свердла із заготовкою. Розподіл осьових напружень характеризується поступовим спадом у напрямку від осі отвору до периферії.

Радіальні напруження. Виникають унаслідок розподілу осьового навантаження в матеріалі. Максимальні значення спостерігаються поблизу отвору та зменшуються у напрямку до країв заготовки.

Залишкові напруження. Формуються після зняття осьового навантаження. Відображають пластичну деформацію матеріалу, яка залишається в зоні свердління. Зазвичай максимальні на внутрішній поверхні отвору й поступово зменшуються до периферії.



Проведена симуляція осьового навантаження. Виявлено, що максимальні напруження концентруються в зоні контакту свердла із заготовкою. Залежно від сили подачі напруження збільшуються в зоні обробки, що може спричиняти утворення мікротріщин.

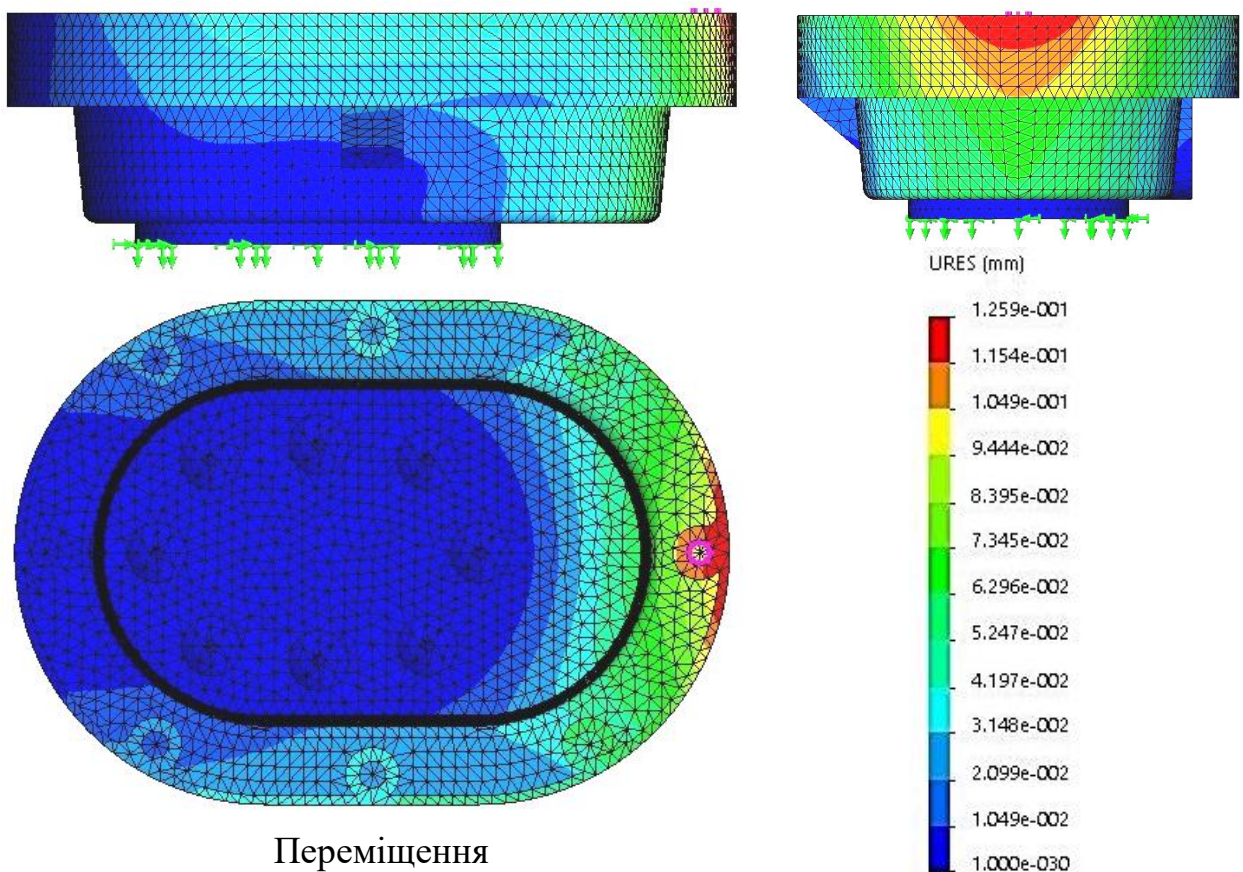
					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення процесу виявлено залишкові напруження в зоні контакту та на периферії отвору. Ці напруження впливають на подальшу експлуатацію деталі, сприяючи можливому втомному руйнуванню.

Переміщення — це зміщення точок матеріалу заготовки під впливом зовнішніх навантажень. У зоні свердління переміщення можна розділити на дві складові:

Осьові переміщення. Відображають зміщення точок у напрямку осі свердління. Найбільші переміщення спостерігаються на контакті свердла із заготовкою. У периферійних областях осьові переміщення мінімальні через фіксацію.

Радіальні переміщення. Спринчинені радіальним розтягненням чи стисканням матеріалу. Збільшуються з віддаленням від осі отвору до певного радіуса, після чого зменшуються.



Переміщення

Максимальні переміщення виникають уздовж осі отвору в зоні контакту зі свердлом.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок. На основі проведеного аналізу напружень, переміщень та деформацій у зоні свердління заготовки, а також результатів графічного відображення (епюри та графіки з Autodesk Inventor Nastran), можна зробити такі висновки:

Розподіл напружень: Максимальні осьові напруження концентруються в зоні контакту свердла із заготовкою та поступово знижуються у напрямку до периферії. Радіальні та тангенціальні напруження значно менші, проте їхній розподіл уздовж радіусу також підтверджує закономірності рівноваги матеріалу. Епюра залишкових напружень показує, що пластична деформація локалізується в зоні внутрішньої поверхні отвору, а залишкові напруження зменшуються зі збільшенням радіусу.

Переміщення: Максимальні переміщення відзначаються уздовж осі свердління в зоні контакту свердла з заготовкою, що підтверджується як епюрою в Inventor, так і розрахунками. Радіальні переміщення залишаються незначними, що вказує на жорсткість матеріалу за межами зони свердління.

Деформації: Зона пластичної деформації виявлена у внутрішній частині отвору та в області поблизу контакту зі свердлом. Зі збільшенням осьового навантаження пластична зона розширюється, що видно з епюри деформацій у Autodesk Inventor. Пружна деформація домінує у зовнішній частині заготовки, забезпечуючи стабільність форми.

Вплив осьового навантаження: Графік залежності напружень від осьового навантаження показує, що при великих навантаженнях ($P > 1500$ Н) матеріал виходить у пластичну зону, що зменшує залишкові напруження через розвантаження пластичних зон. Оптимізація навантаження дозволяє зменшити як залишкові напруження, так і ризик утворення мікротріщин у зоні свердління.

Якість обробки: Рівномірний розподіл напружень і контроль параметрів свердління (зокрема осьового навантаження) сприяють підвищенню якості отвору. Мінімізація залишкових напружень поблизу

					MP.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отвору дозволяє зменшити ризик втомних руйнувань і забезпечити довговічність заготовки.

Рекомендації: Використовувати осьове навантаження в межах 1000–1500 Н для запобігання виходу матеріалу у глибоку пластичну зону. Регулювати швидкість подачі свердла та застосовувати охолоджувальні рідини для зменшення термальних ефектів. Подальші дослідження доцільно зосередити на термопластичних ефектах та впливі швидкості обертання свердла на якість обробки.

Висновок підтверджується як графіками, так і чисельним моделюванням у Autodesk Inventor Nastran. Вони дозволяють оцінити напружено-деформований стан заготовки та розробити рекомендації для оптимізації технологічного процесу.

					МР.ПМКМ– 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Панчук В. Г., Карпик Р. Т., Пітулей Л. Д.,Лукань Т. В., Панчук А.Г.Магістерська робота П - 14. Магістерська робота: методичні вказівки. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018.- 35 с.

2.Сторож Б. Д., Карпик Р. Т. Розрахунок пристроїв на точність: навч. Посібник / Під ред. Карпика Р. Т. - Івано-Франківськ, «Факел», 1999. - 216 с.,

3.Сторож Б.Д., Карпик Р.Т., Гордєєв А.І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ; Хмельницький: ХНУ, 2014. – 230с.

4.Руденко П. А.. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник. – Київ, Вища школа, 1993. – 414 с.

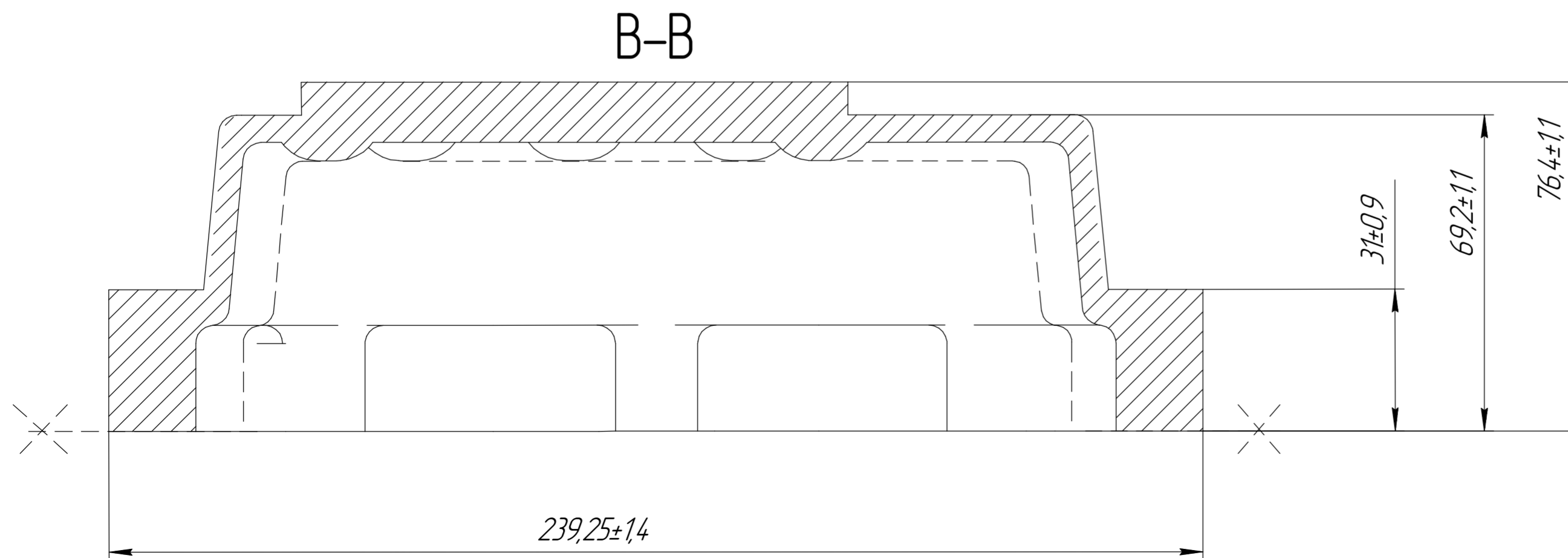
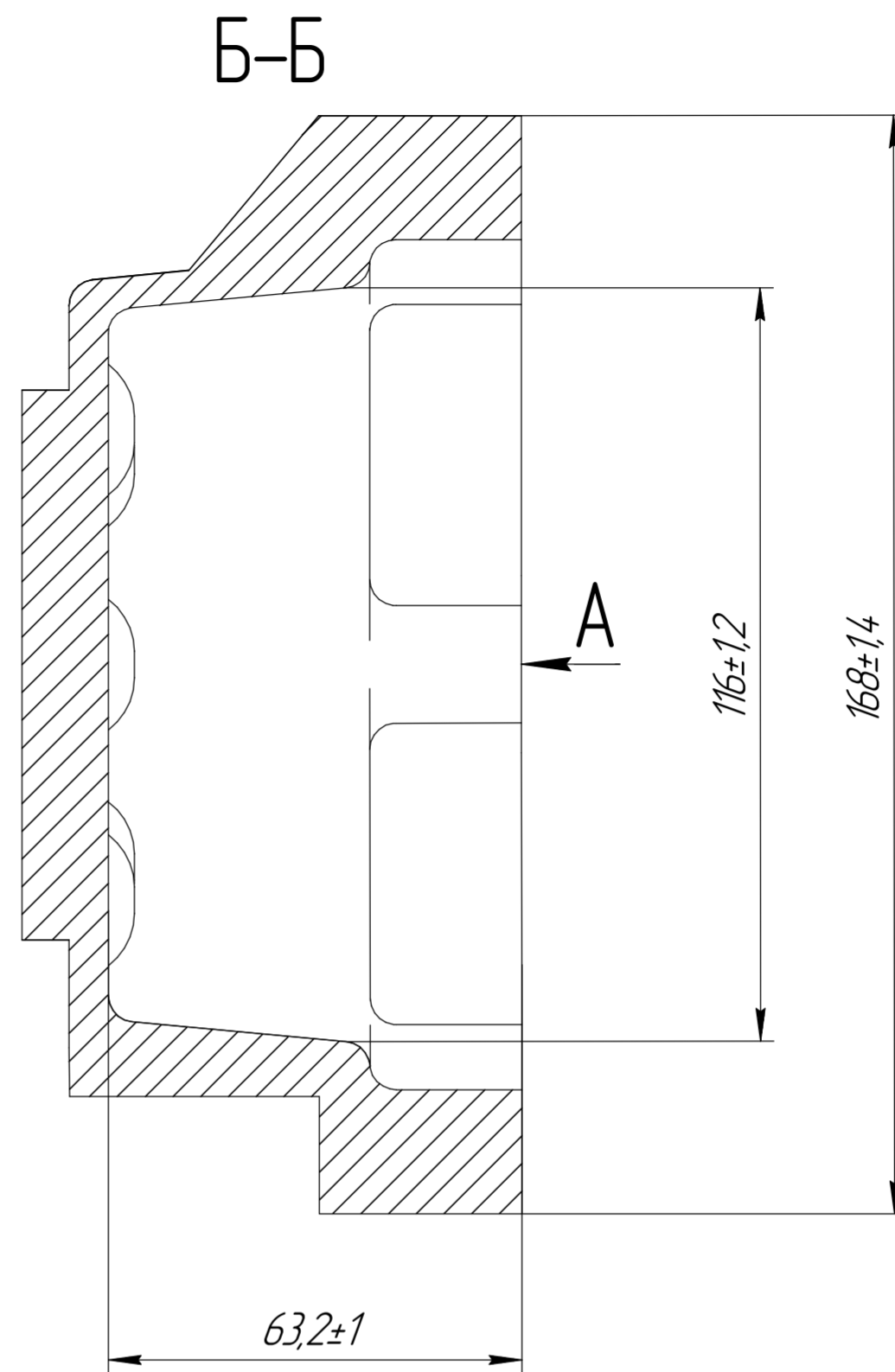
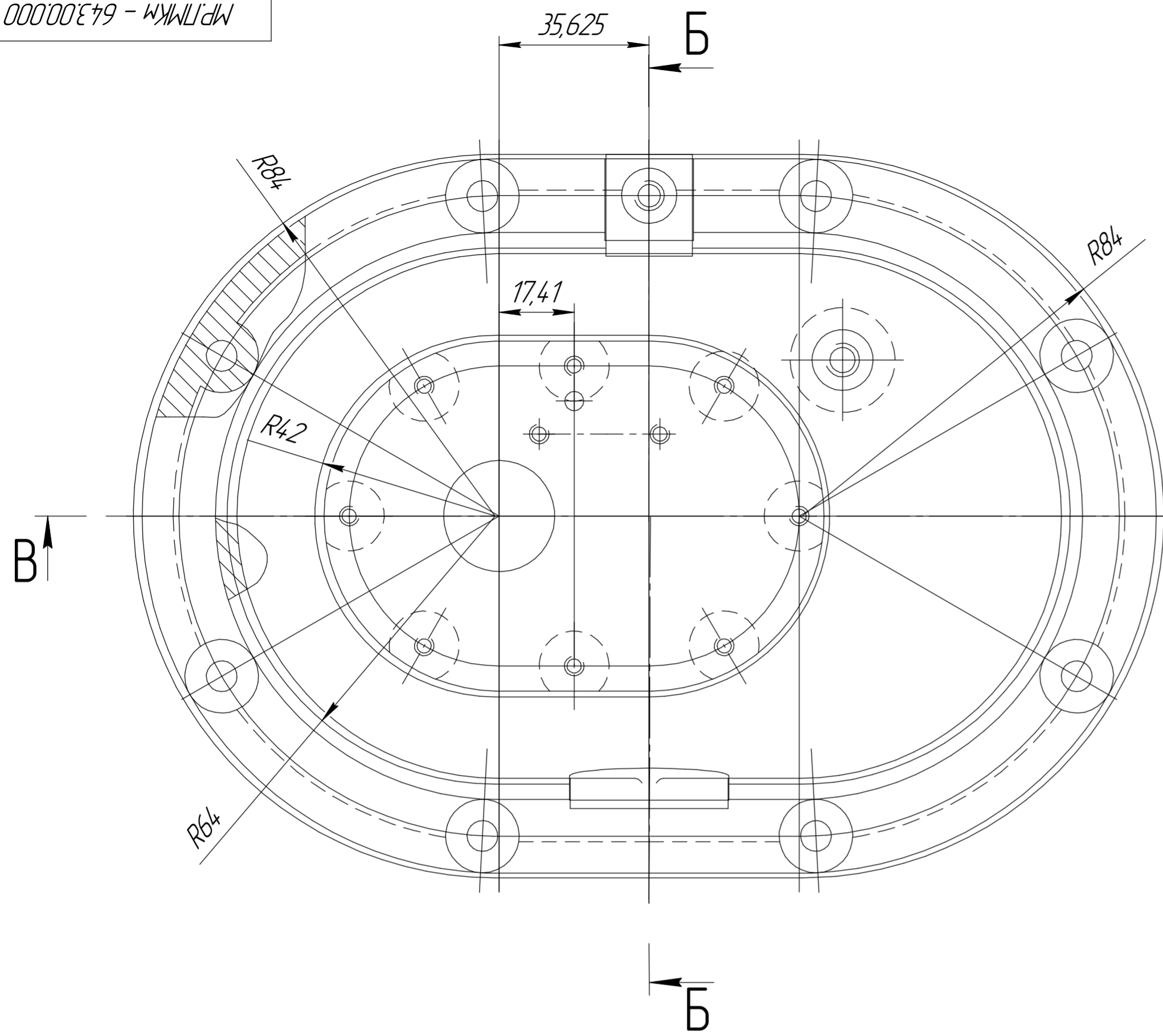
5.Грегорі М. Р. Комп'ютерне моделювання у машинобудуванні: SolidWorks та Inventor. — К.: Видавництво КПІ, 2020. — 270 с.

6.Чистяков В. І. Методика розрахунків залишкових напружень у деталях машин. — Л.: Політехніка, 2016. — 320 с.

7.Багратунян Л. А. Основи розрахунків на міцність: Навчальний посібник. — Одеса: ОНПУ, 2018. — 350 с.

8.Автодеск Інвентор. Офіційна документація. — Autodesk Inc., 2022.

					МР.ПМКм= 643.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1. Невказані радіуси заокруглення 4, неказані ухили 5
2. Зміщення по площі рознімання ± 0,8 мм
3. Точність вилівка 9-9-4-4 ДСТУ 26645-87
4. Граничні відхилення жалоблення ± 0,60 мм

MP.ПМКМ - 643.00.000					Лит.	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дата	Заготовка (литво в піщано глинясті форми)	5,84	1:1
Разроб.	Тишко О. І.					Аркуш	Аркушів
Перев.	Костюк Н. О.				ІФНТУНГ ПМКМ-23-1		
Т.контр.	Костюк Н. О.						
Реценз.							
Н.контр.	Костюк Н. О.				СЧ 20 ДСТУ 14.12-85		
Затв.	Панчук В. Г.						

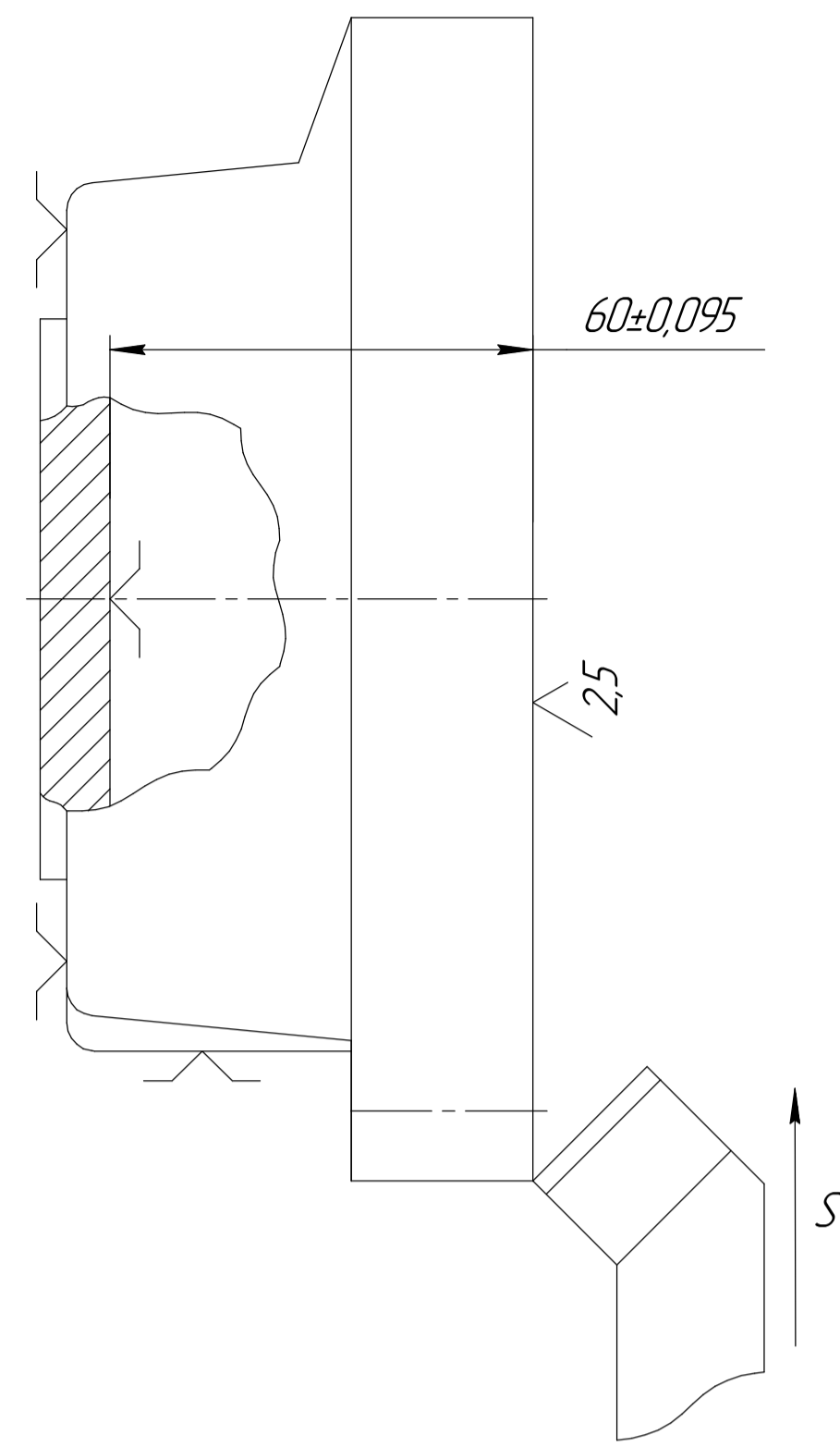


Рисунок 1 - Ескіз обробки

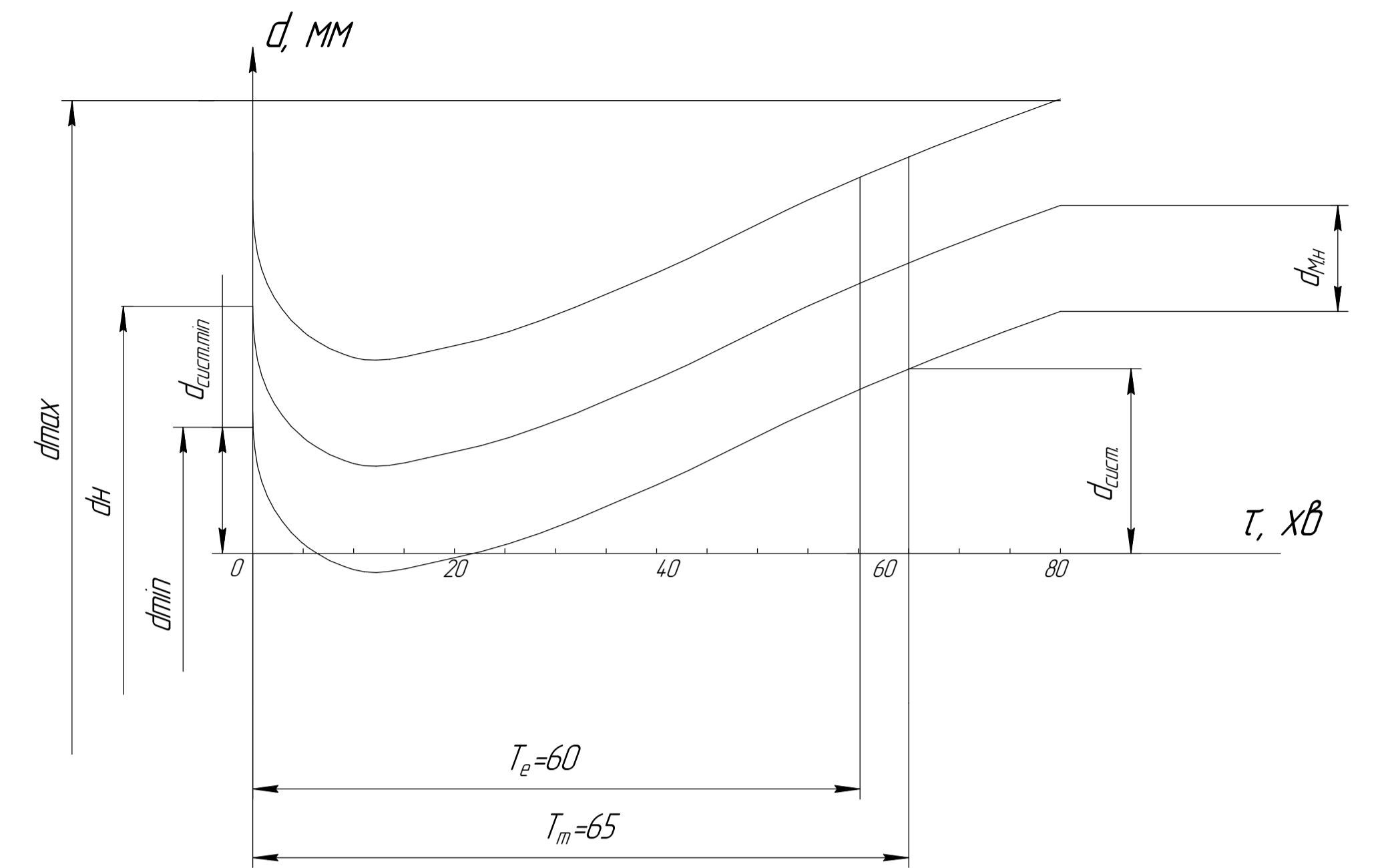


Рисунок 2 - Теоретична діаграма точності

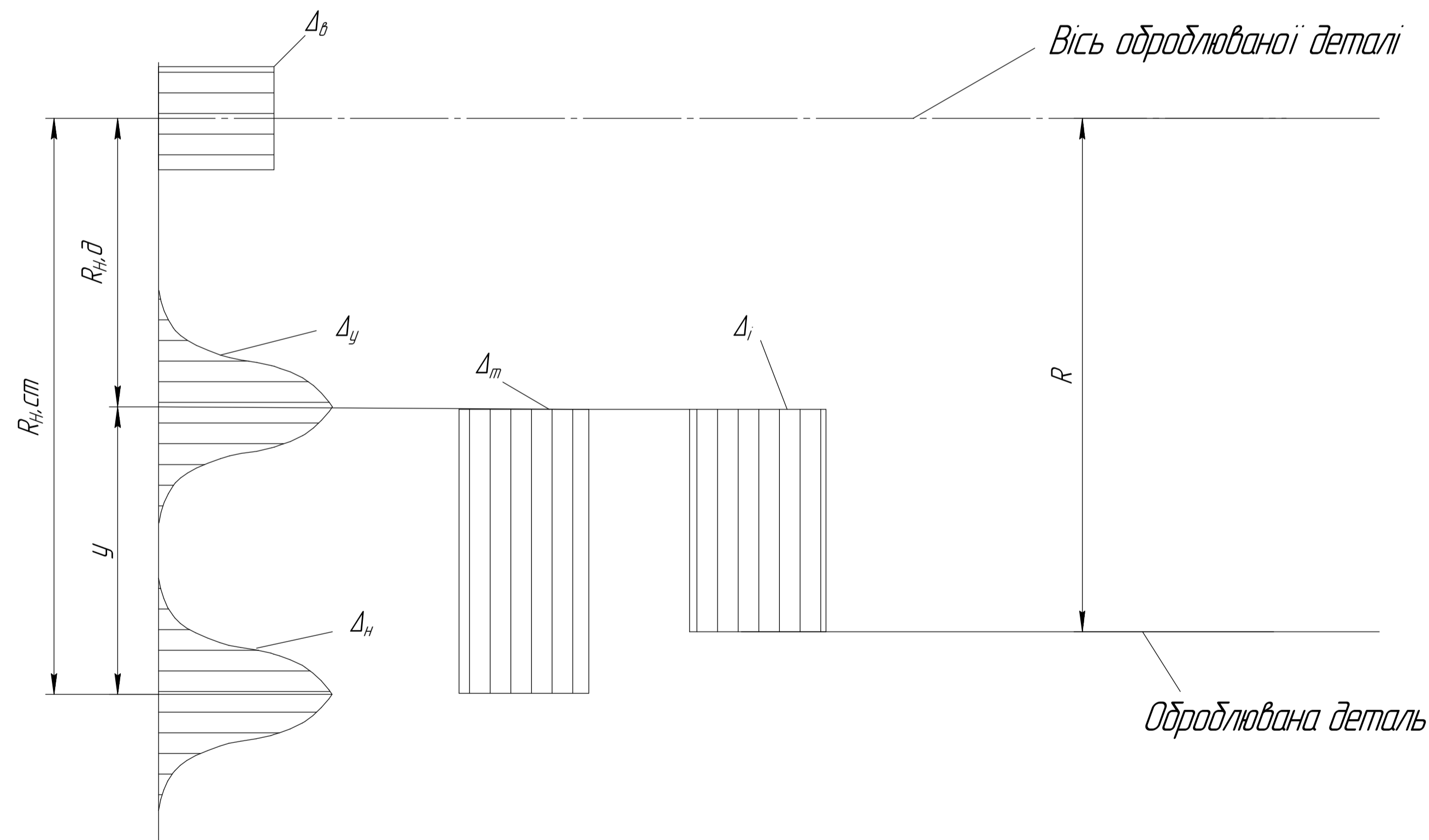


Рисунок 3 - Схема технологічного розмірного ланцюга
 $R, R_{н.ст}, R_{н.б}$ - відповідно радіуси обробки (закриваюча ланка), статичного налаштування, динамічного налаштування.
 Y - постійна складова похибки від деформації системи ВПД під дією сил різання

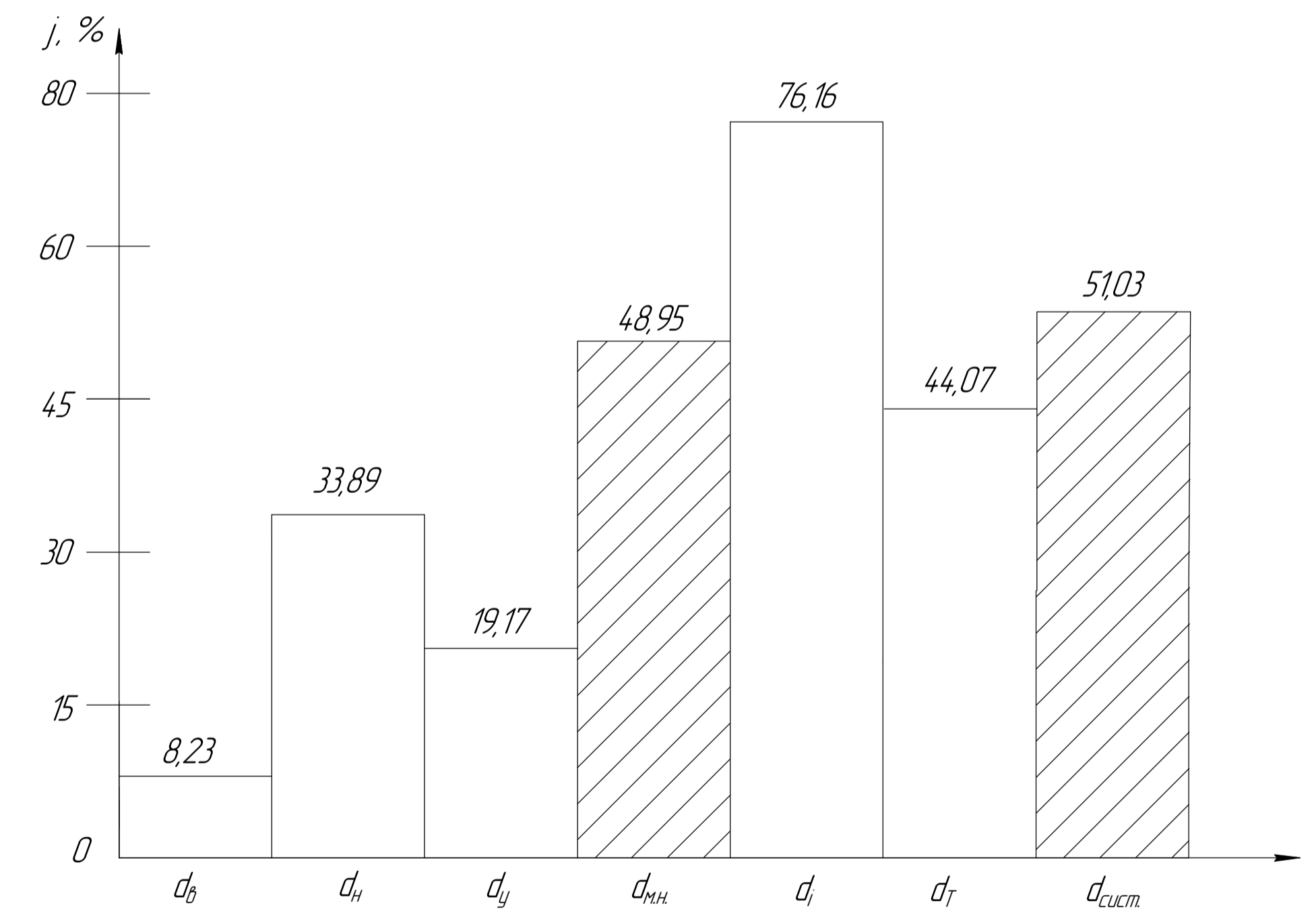


Рисунок 4 - Гістограма похибок

				МР.ПММ - 643.00.000			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.		Тишко О. І.				-	1:1
Перев.		Костюк Н. О.					
Т.контр.		Костюк Н. О.					
Реценз.							
Н.контр.		Костюк Н. О.					
Затв.		Ланчук В. Г.					
Аналіз точності					Архив		
-					Архив		
					ІФНТУНГ		
					ПММ-23-1		

Деталь до обробки

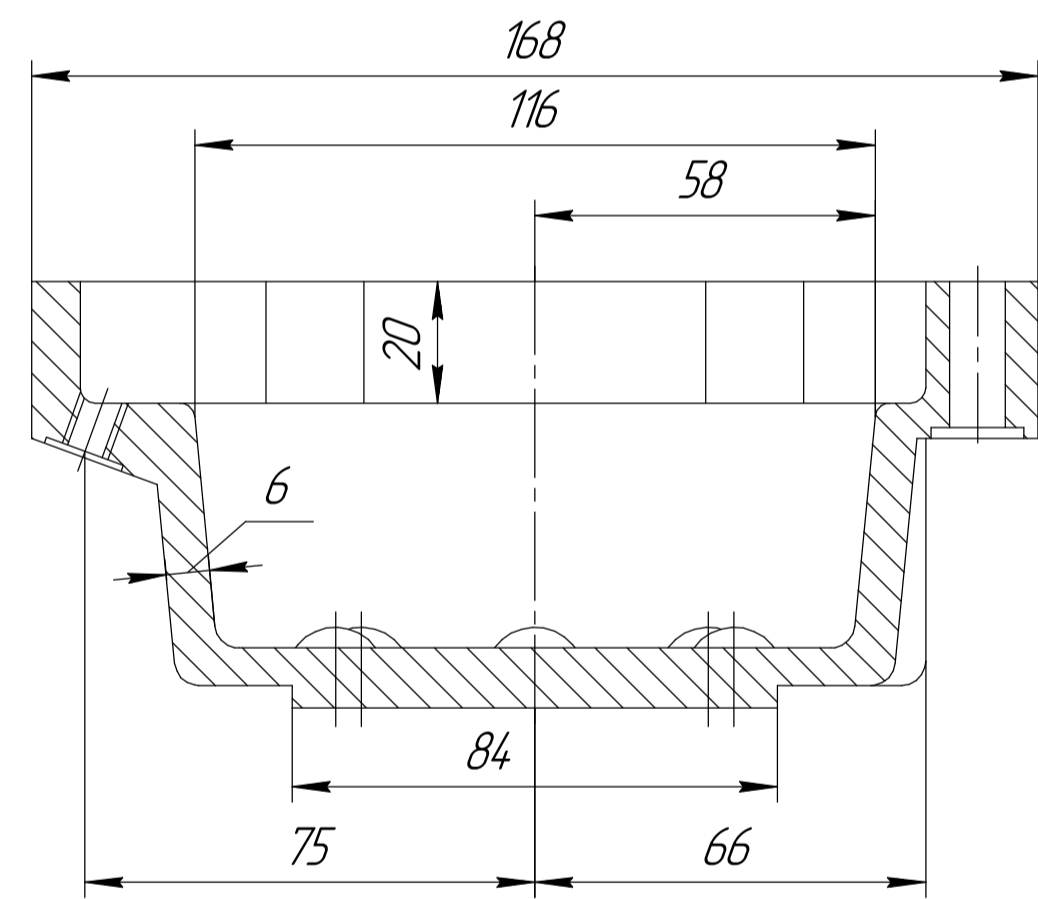
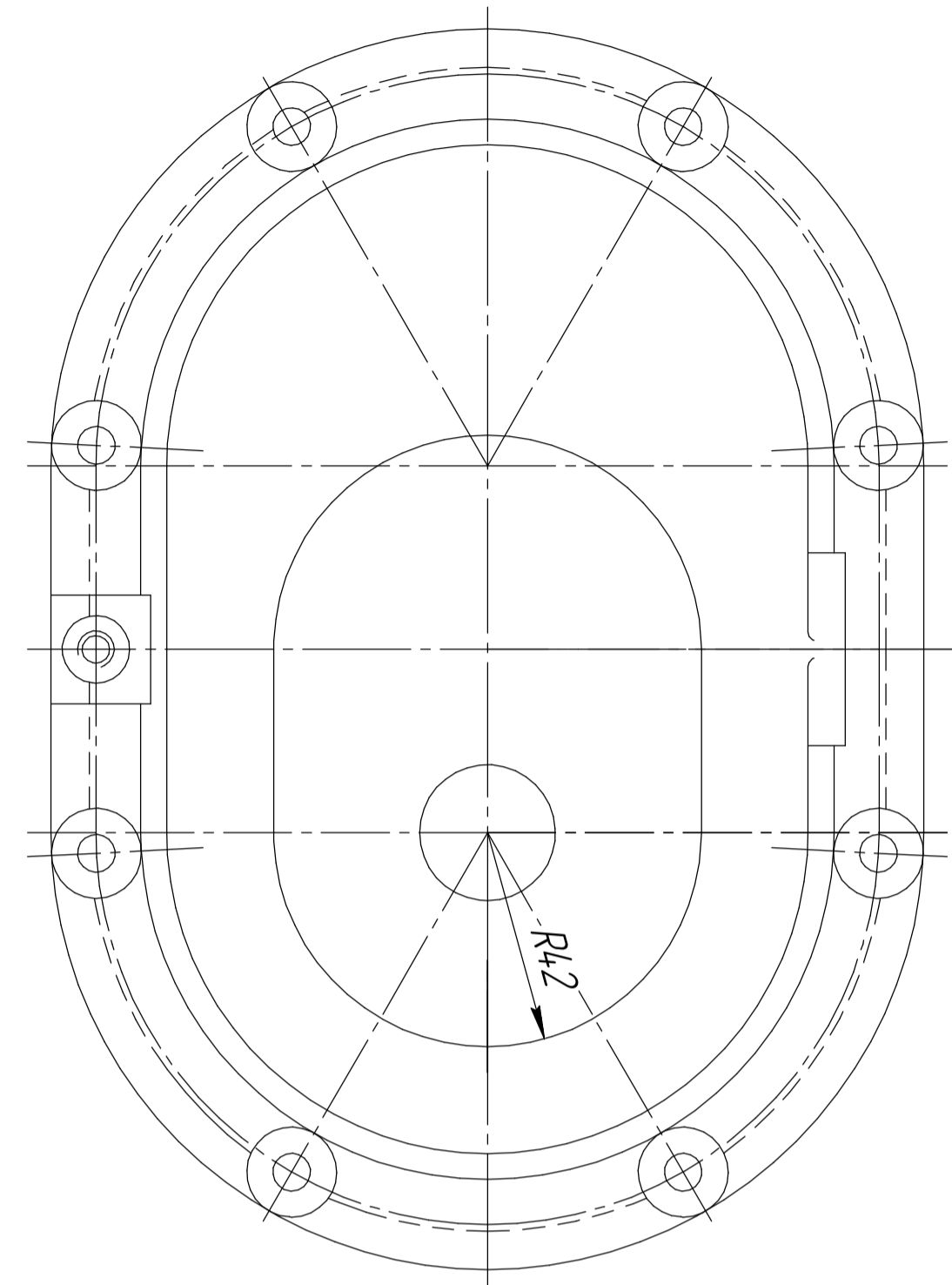
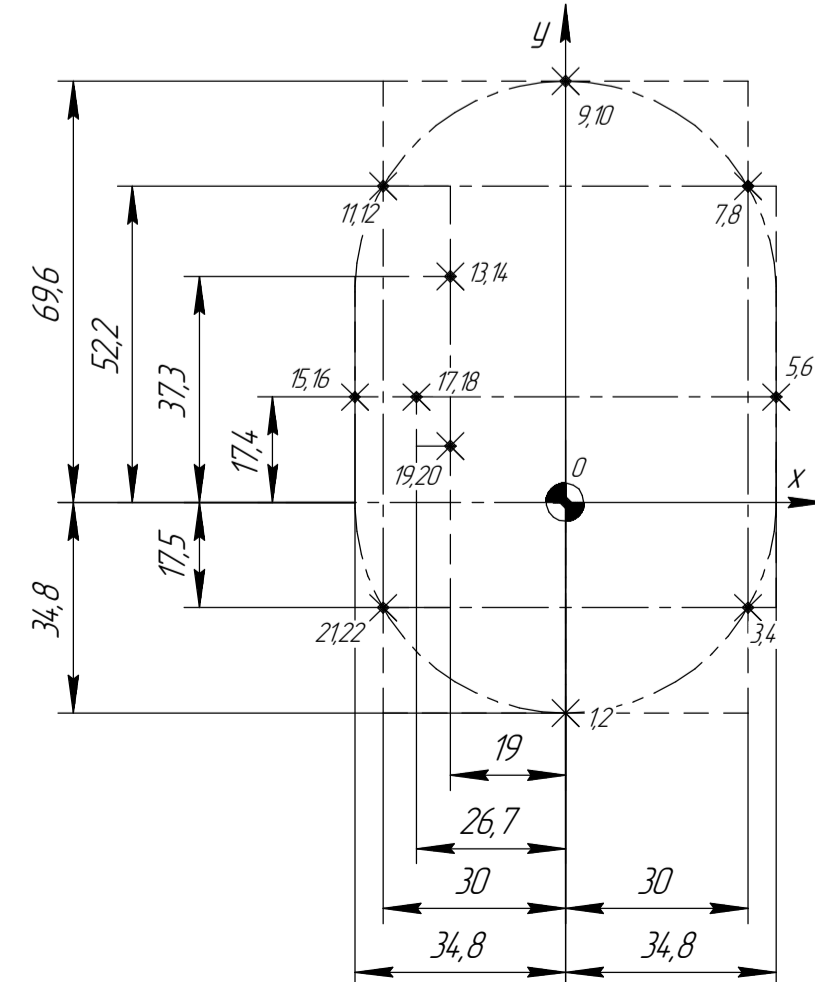
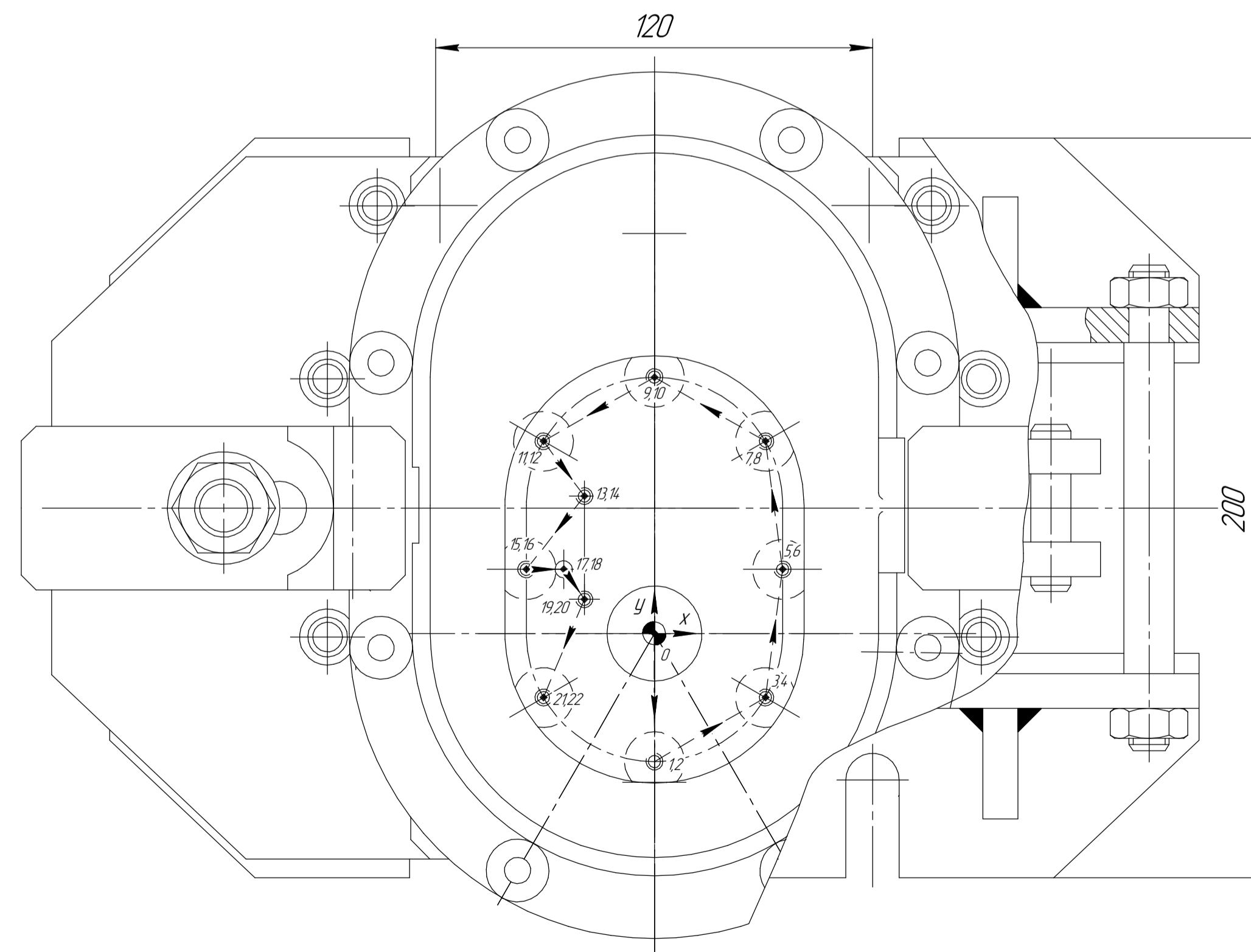
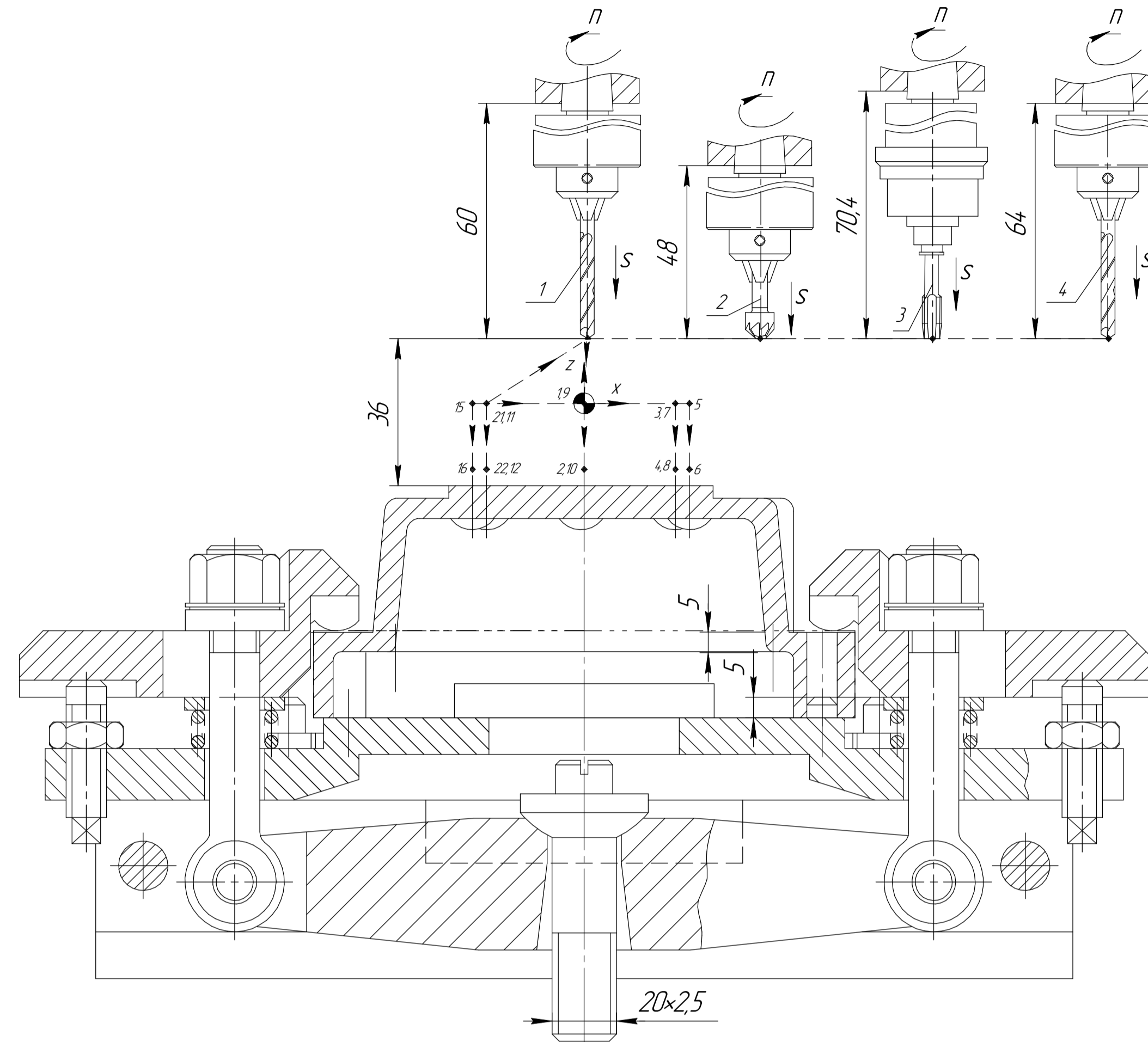


Схема розташування опорних точок



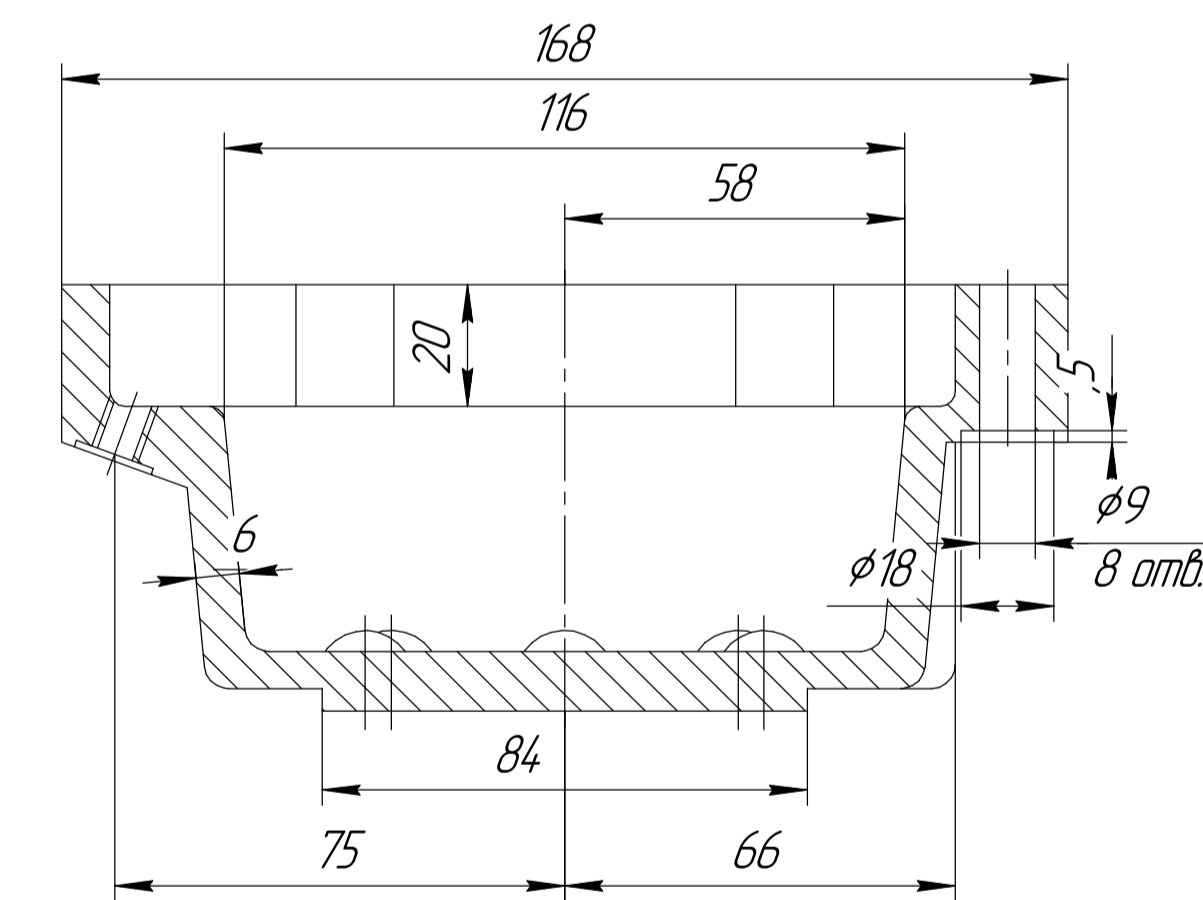
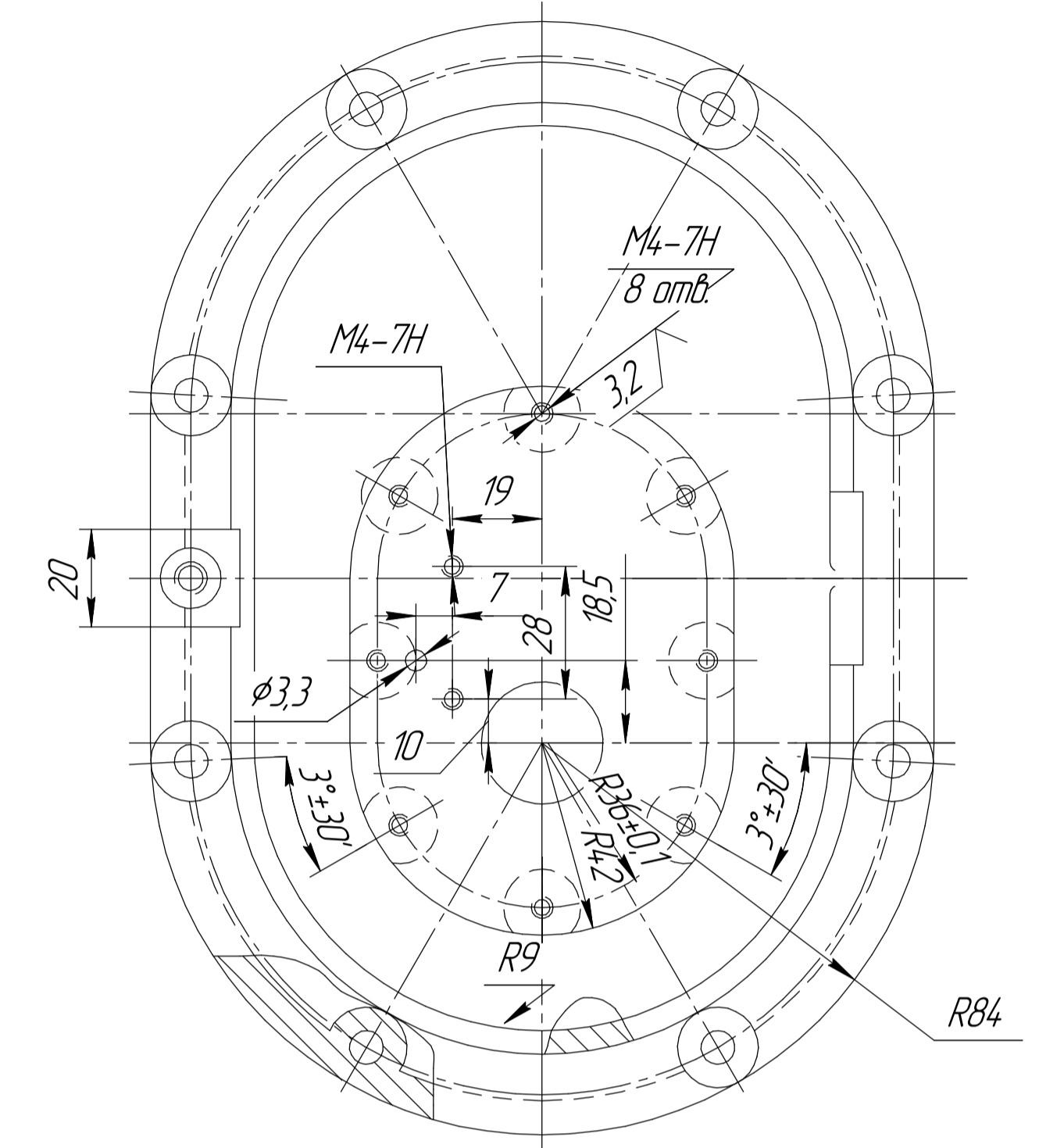
Деталь підчас обробки



Координати опорних точок

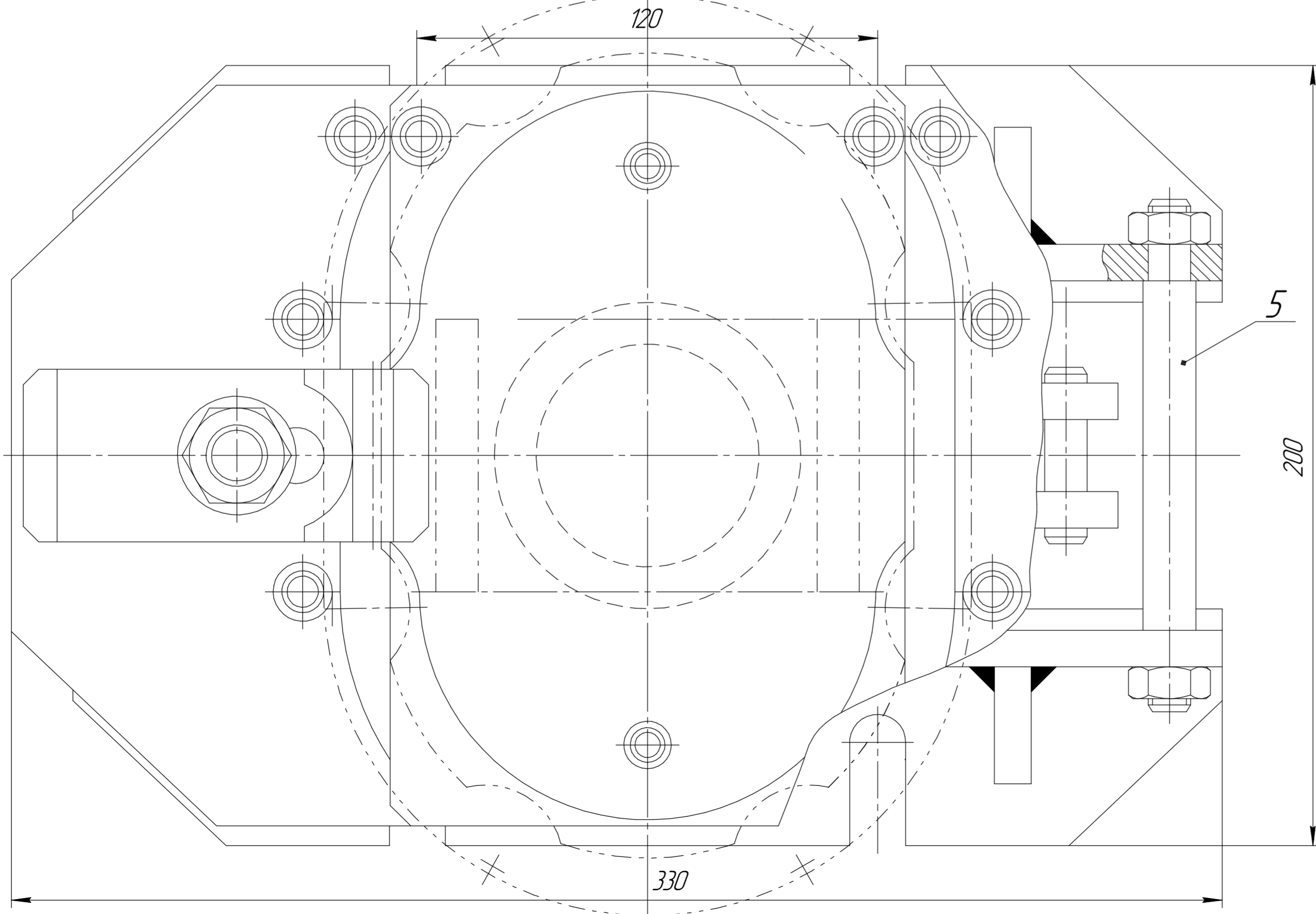
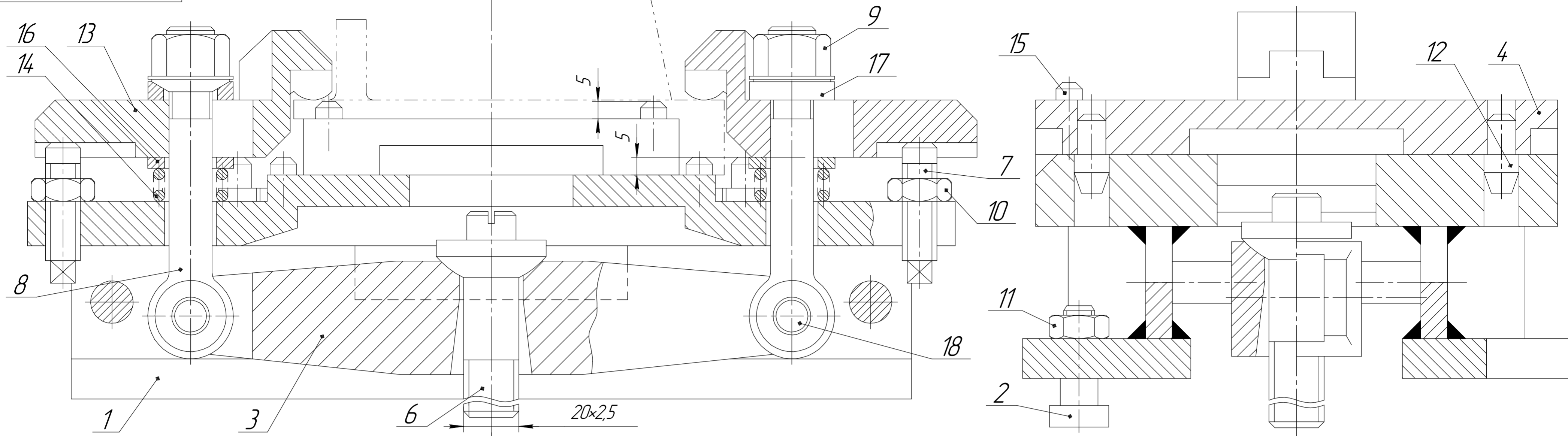
№	X	Y	Z
1	0	-34.8	0
2	0	-34.8	-16
3	30	-17.5	0
4	30	-17.5	-16
5	34.8	17.4	0
6	34.8	17.4	-16
7	30	52.2	0
8	30	52.2	-16
9	0	69.6	0
10	0	69.6	-16
11	-30	52.2	0
12	-30	52.2	-16
13	-19	37.3	0
14	-19	37.3	-16
15	-34.8	17.4	0
16	-34.8	17.4	-16
17	-26.7	17.4	0
18	-26.7	17.4	-16
19	-19	9.3	0
20	-19	9.3	-16
21	-30	-17.5	0
22	-30	-17.5	-16

Деталь після обробки



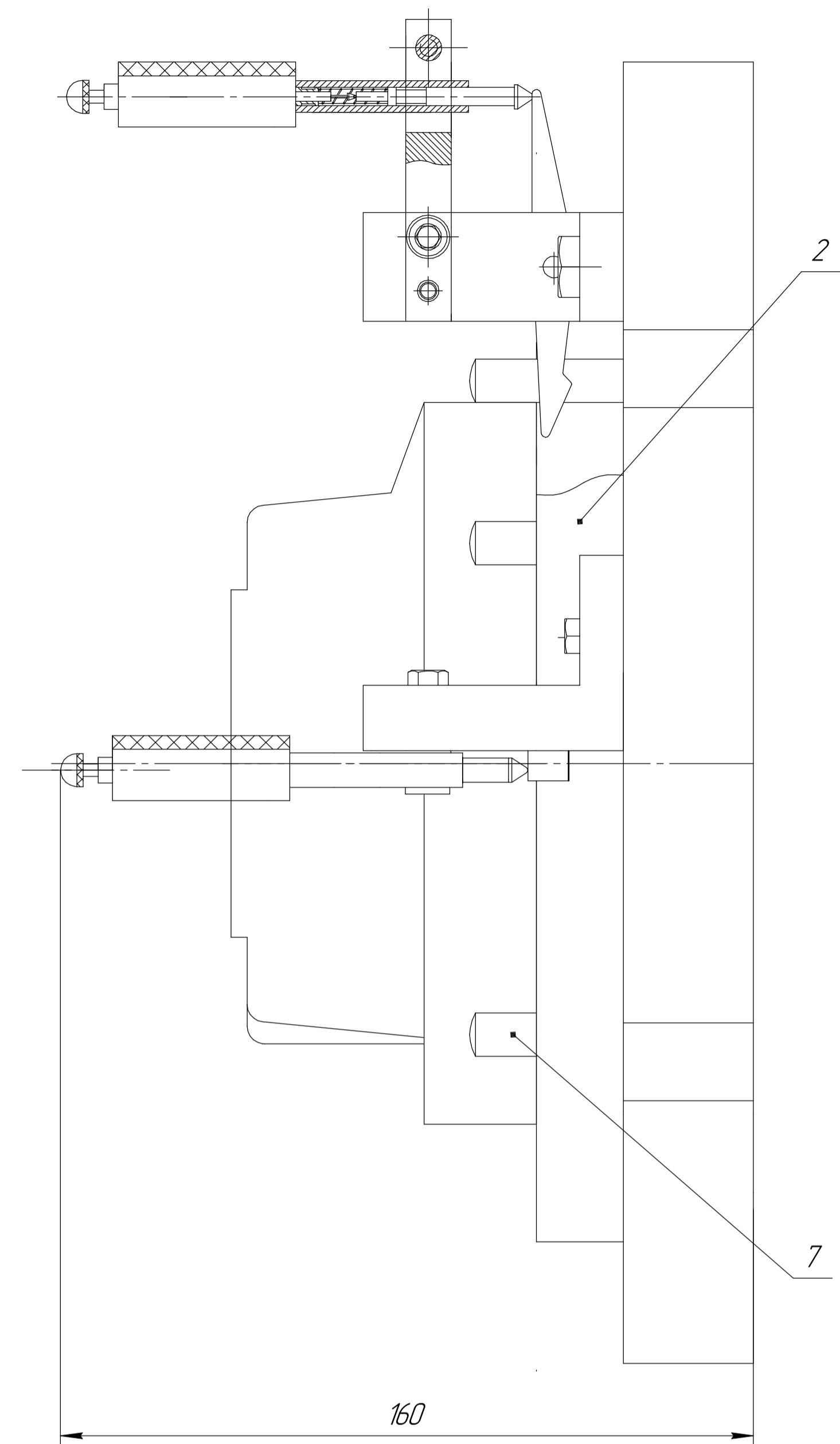
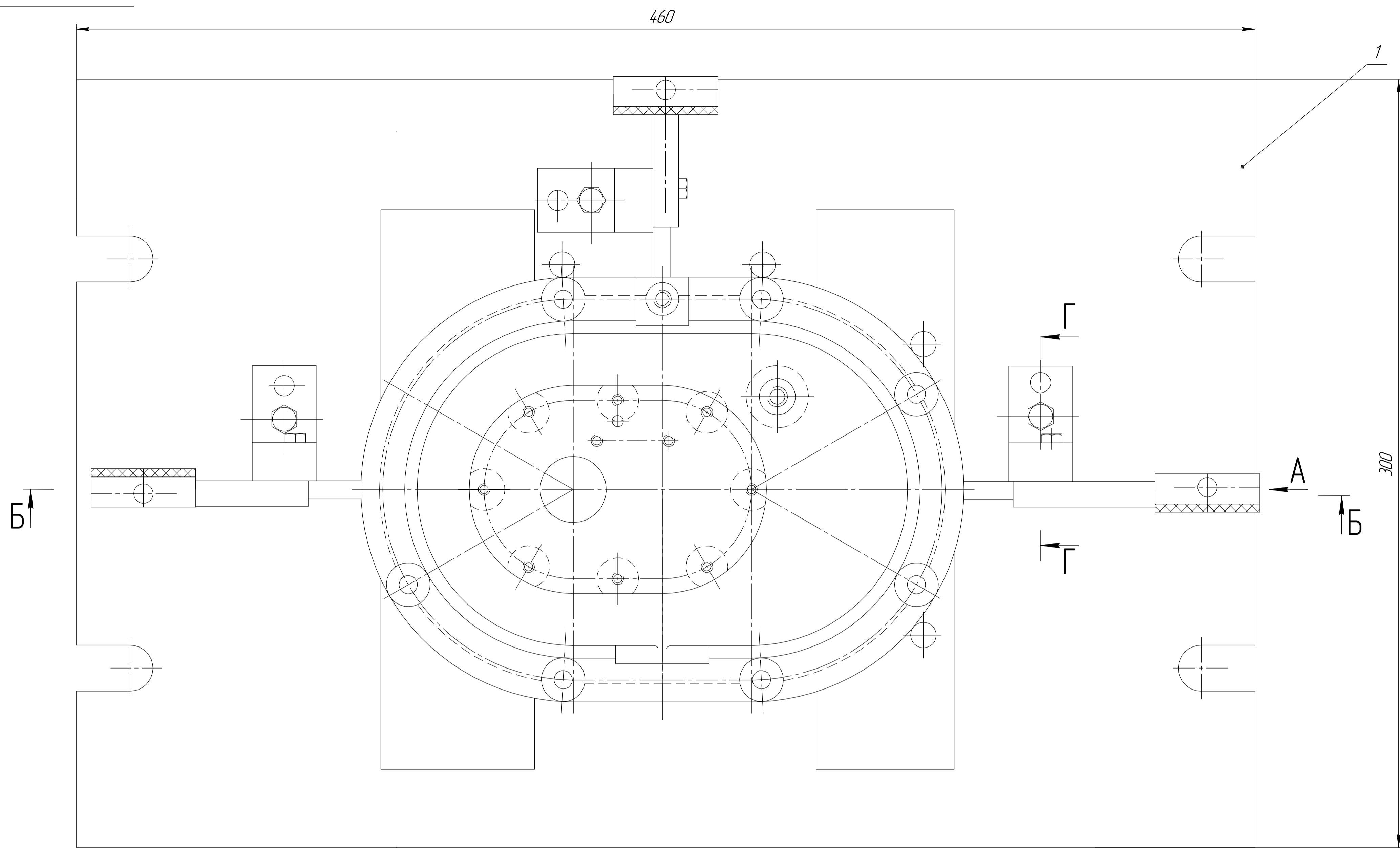
№ п/п на карті	Наменування і короткий зміст Ріжучий інструмент	f (мм)	S (мм/об)	V (м/хв)	n (хв ⁻¹)	T ₀ (хв)	T _q (хв)
4	Свердло	165	0,2	20,7	2000	0,78	0,26
3	Мітчик	0,35	0,5	3,14	250		
2	Зенківка	0,5	0,2	219	1400		
1	Свердло	165	0,2	20,7	2000		

МПММ - 64.300.000				Лист	Маса	Масштаб
Карта наладки					-	1:1
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата	Архив	Архив
Разр.	Тижко О. І.	Костак Н. О.	Костак Н. О.		1	
Перев.	Костак Н. О.	Костак Н. О.	Костак Н. О.			
Т.контр.	Костак Н. О.	Костак Н. О.	Костак Н. О.			
Реценз.	Костак Н. О.	Костак Н. О.	Костак Н. О.			
Н.контр.	Костак Н. О.	Костак Н. О.	Костак Н. О.			
Затв.	Панчук В. Г.	Панчук В. Г.	Панчук В. Г.			

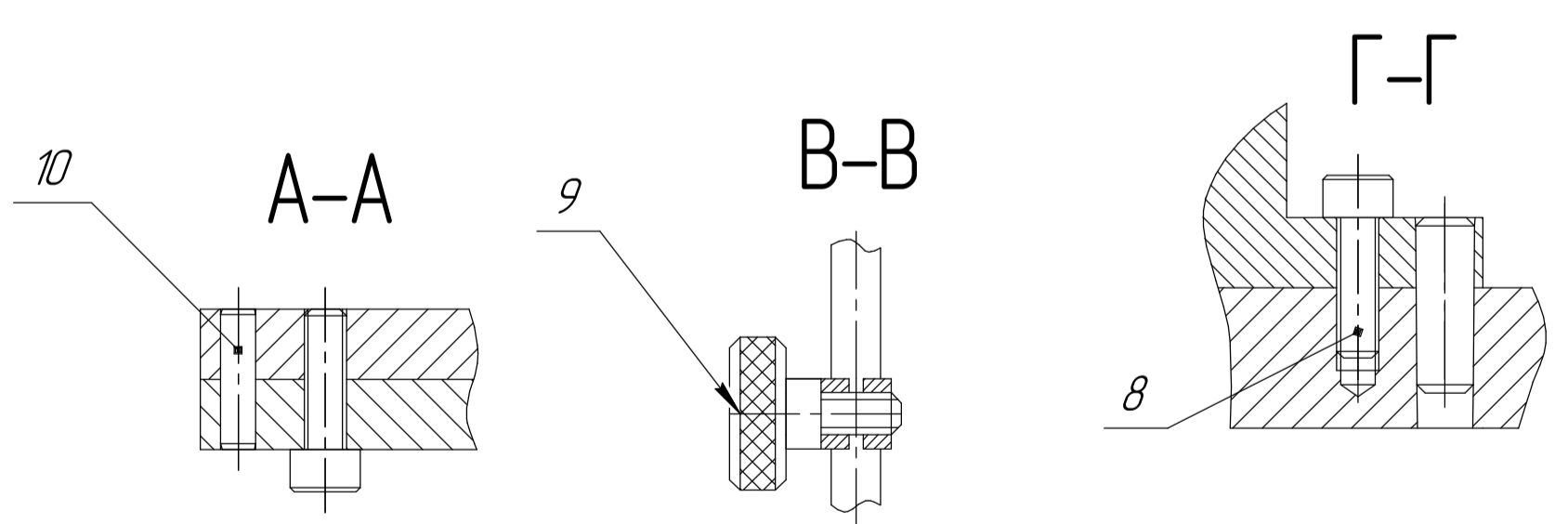
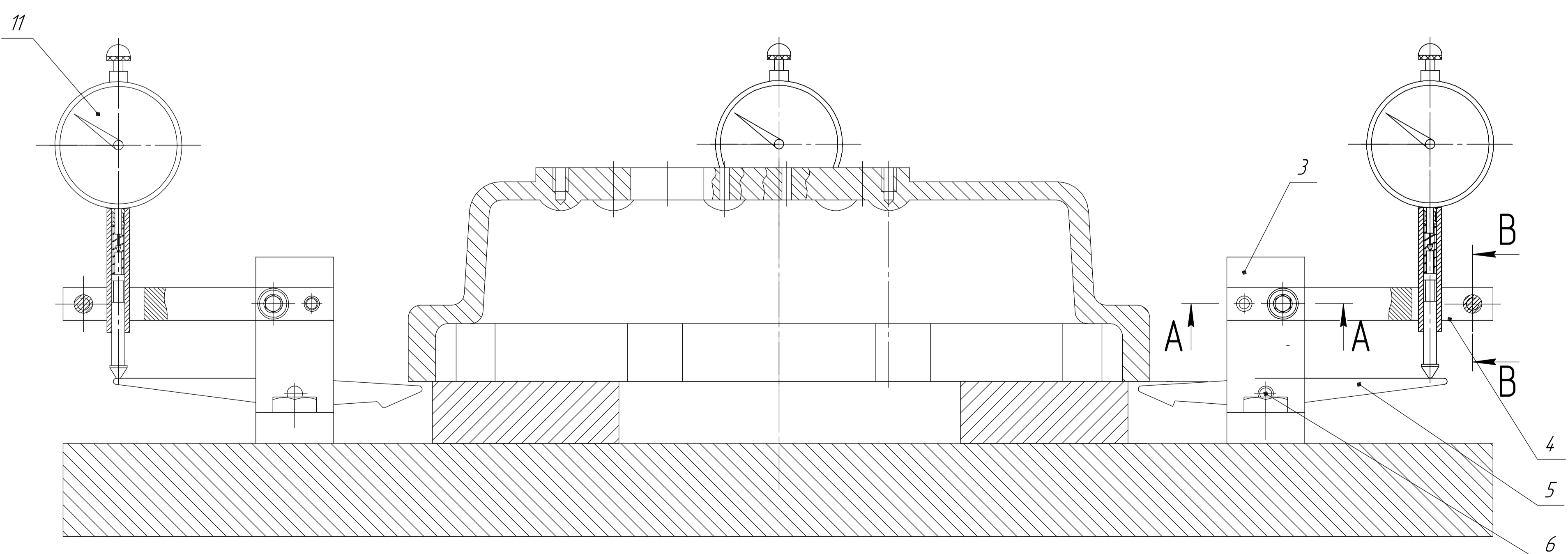


1. Верстатний пристрій для закріплення деталі "Кришка передня" з призначенням для фрезерування площини і працює в комплекті з нормалізованим пневматичним столом з діафрагментним приводом.
2. Необхідне зусилля для затиску деталі 4688Н.
3. Для змащування пристрою використовувати мастило WD-40 Specialist.
4. Перед використанням перевіряти на справність.
5. *Розмір для довідок.

				MP.ПМКМ - 64.300.000				
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрій фрезерний	Лит.	Маса	Масштаб
Разроб.		Тишко О. І.					-	1:1
Перев.		Костяк Н. О.				Аркуш	Аркушів	1
Т.контр.		Костяк Н. О.				ІФНТУНГ		
Реценз.						ПМКМ-23-1		
Н.контр.		Костяк Н. О.						
Затв.		Панчук В. Г.						



Б-Б



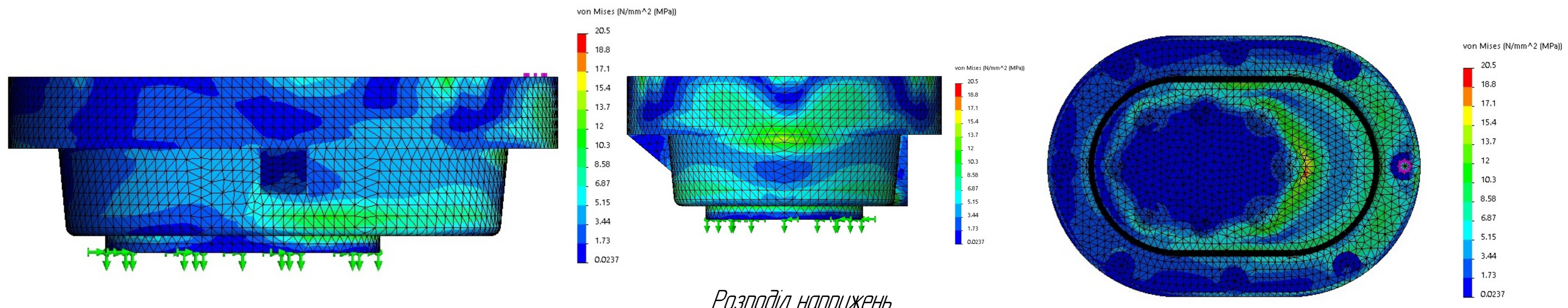
1. Пристрій спроектовано для контролю площинності
 2. *Розміри для довідок

МР.ПМЖ - 643.00.000				Лист	Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Н	-	11
Розроб.		Тишко О. І.					
Перев.		Костюк Н. О.					
Т.контр.		Костюк Н. О.					
Реценз.							
Н.контр.		Костюк Н. О.					
Затв.		Панчук В. Г.					
Пристрій контрольний				Аркцив	Аркцив	1	
				ІФНТУНГ			
-				ПМЖ-23-1			

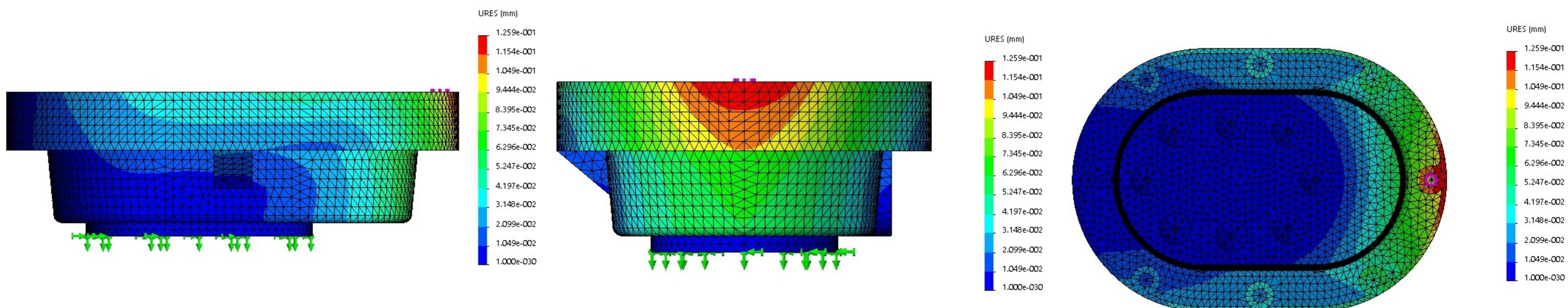
Аналіз розподілу залишкових напружень у зоні свердління заготовки під впливом осьового навантаження.

МР.ПММ - 64.300.000

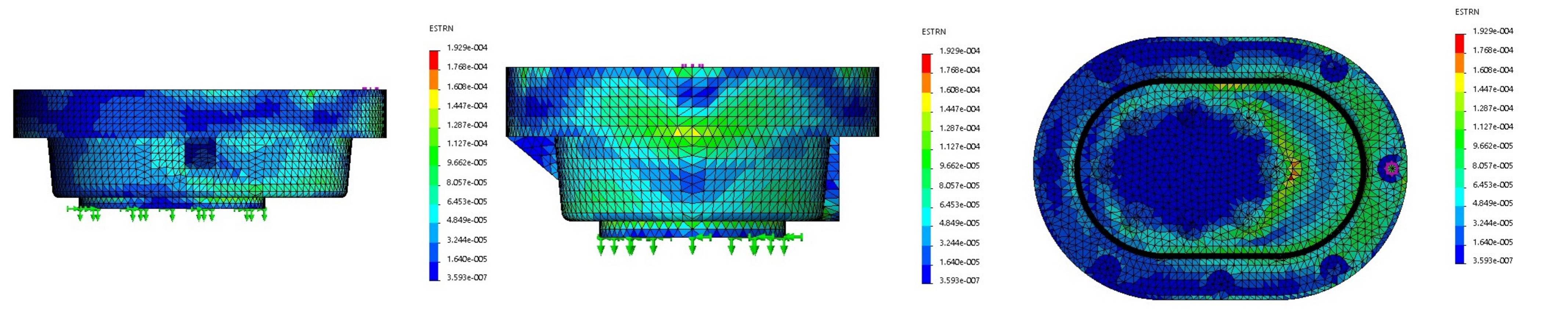
Метою цього дослідження є вивчення впливу осьового навантаження на розподіл напружень, концентрацію деформацій та залишкові напруження у заготовці з використанням інструментів Autodesk Inventor.



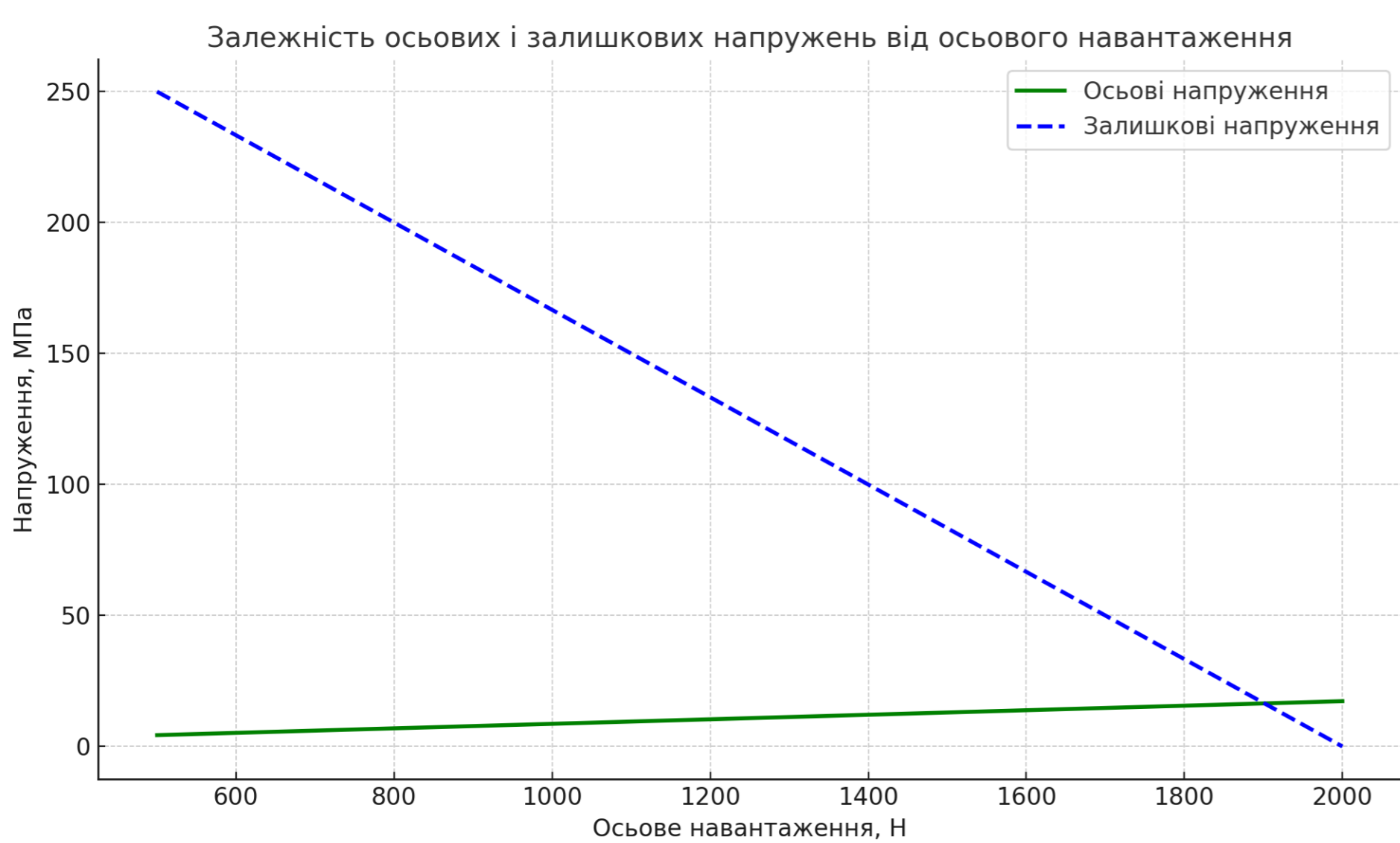
Розподіл напружень



Розподіл переміщень



Розподіл деформації



Висновок. На основі проведеного аналізу напружень, переміщень та деформацій у зоні свердління заготовки, а також результатів графічного відображення (епюри та графіки з Autodesk Inventor Nastran), можна зробити такі висновки:

– **Розподіл напружень:** Максимальні осьові напруження концентруються в зоні контакту свердла із заготовкою та поступово знижуються у напрямку до периферії. Радіальні та тангенціальні напруження значно менші, проте їхній розподіл уздовж радіусу також підтверджує закономірності рівноваги матеріалу. Епюра залишкових напружень показує, що пластична деформація локалізується в зоні внутрішньої поверхні отвору, а залишкові напруження зменшуються зі збільшенням радіусу.

– **Переміщення:** Максимальні переміщення відзначаються уздовж осі свердління в зоні контакту свердла з заготовкою, що підтверджується як епюрою в Inventor, так і розрахунками. Радіальні переміщення залишаються незначними, що вказує на жорсткість матеріалу за межами зони свердління.

– **Деформації:** Зона пластичної деформації виявлена у внутрішній частині отвору та в області поблизу контакту зі свердлом. Зі збільшенням осьового навантаження пластична зона розширюється, що видно з епюри деформацій у Autodesk Inventor. Пружна деформація домінує у зовнішній частині заготовки, забезпечуючи стабільність форми.

– **Вплив осьового навантаження:** Графік залежності напружень від осьового навантаження показує, що при великих навантаженнях матеріал виходить у пластичну зону, що зменшує залишкові напруження через розвантаження пластичних зон. Оптимізація навантаження дозволяє зменшити як залишкові напруження, так і ризик утворення мікротріщин у зоні свердління.

Якість обробки: Рівномірний розподіл напружень і контроль параметрів свердління (зокрема осьового навантаження) сприяють підвищенню якості отвору. Мінімізація залишкових напружень поблизу отвору дозволяє зменшити ризик втомних руйнувань і забезпечити довговічність заготовки.

Рекомендації: Використовувати осьове навантаження в межах 1000 – 1500 Н для запобігання виходу матеріалу у глибоку пластичну зону. Регулювати швидкість подачі свердла та застосовувати охолоджувальні рідини для зменшення термальних ефектів.

Подальші дослідження доцільно зосередити на термопластичних ефектах та впливі швидкості обертання свердла на якість обробки.

Висновок підтверджується як графіками, так і чисельним моделюванням у Autodesk Inventor Nastran. Вони дозволяють оцінити напружено-деформований стан заготовки та розробити рекомендації для оптимізації технологічного процесу.

				МР.ПММ - 64.300.000		
Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Штамп.	Лист	Масштаб
Розроб.		Гушка О. І.				1:1
Перев.		Костюк Н. О.				
І.контр.		Костюк Н. О.				
Реценз.		Костюк Н. О.				
І.контр.		Костюк Н. О.				
Затв.		Панчук В. Г.				
					Архив 1	
					ІФНТУНГ	
					ПММ-23-1	