

**Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу**

Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Баган Іван Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.9

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: «Технологічний процес виготовлення деталі «Фланець ФС-01.320190.40»
для умов середньосерійного типу виробництва».

(назва роботи)

Прикладна механіка

(назва освітньої програми)

131- Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Баган І. А.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Шуляр Б. Р. доц. каф. КМВ

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор

В.Г. Панчук

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

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

м.Івано-Франківськ-2025 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Технологічний процес виготовлення деталі «Фланець ФС-01.320190.40» для умов середньосерійного типу виробництва»

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

Графічна частина: аркуші формату А1.

Об'єкт дослідження – технологічний процес механічної обробки.

Предмет дослідження - деталь “ Фланець ФС-01.320190.40”.

Мета роботи – розробити ефективний технологічний процес виготовлення деталі типу фланець для умов середньосерійного виробництва з урахуванням сучасних вимог до точності, якості обробки та економічної доцільності.

У межах роботи було проведено конструкторсько-технологічний аналіз деталі та оцінено її технологічність. Визначено раціональну заготовку та спосіб її виготовлення. Розроблено маршрут обробки деталі з використанням сучасного металообробного обладнання, зокрема верстатів з числовим програмним керуванням.

Для забезпечення точного та надійного закріплення деталі при обробці запропоновано конструкцію спеціального верстатного пристрою, а також контрольного пристрою. Проведено розрахунок сили затиску та виконано перевірку умов надійності кріплення. У науково-дослідній частині роботи виконано чисельне моделювання впливу величини припуску на розмірну точність обробки деталі типу фланець, що дозволило зробити відповідні рекомендації щодо оптимізації параметрів процесу.

У додатках до роботи подано креслення, маршрутні карти, карти налагоджень та іншу технологічну документацію, що забезпечує повноту реалізації розробленого процесу у виробничих умовах.

Результати роботи можуть бути впроваджені на машинобудівних підприємствах при виготовленні деталей типу фланець, забезпечуючи підвищення точності, зниження витрат і стабільність процесу.

Ключові слова: *фланець, заготовка, механічна обробка, технологічний процес, верстат, пристрій, інструмент, сила затиску, припуск, моделювання, точність.*

Студент: Баган І. А.

SUMMARY

of the Bachelor's Qualification Thesis: “Technological Process of Manufacturing the Part ‘Flange FS-01.320190.40’ under Medium-Scale Production Conditions”

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

Graphic part: sheets of A1 format.

The object of research is the technological process of machining.

Subject of research - detail " Flange FS-01.320190.40”.

Objective: To develop an efficient technological process for manufacturing a flange-type part under medium-scale production conditions, taking into account modern requirements for precision, machining quality, and economic feasibility.

Within the scope of the thesis, a design and technological analysis of the part was carried out, and its manufacturability was assessed. A rational blank and the method of its manufacturing were defined. A machining route was developed using modern metal-cutting equipment, including CNC machines.

To ensure precise and reliable clamping of the part during machining, a special machine fixture and a control device were designed. The clamping force was calculated and the reliability of the fixation was verified. In the research section, numerical modeling was performed to analyze the influence of allowance size on the dimensional accuracy of machining the flange-type part, which allowed for the development of corresponding recommendations for optimizing process parameters.

The appendices include drawings, operation route sheets, setup cards, and other technological documentation required for full implementation of the developed process in production conditions.

The results of the work can be implemented in machine-building enterprises for the production of flange-type parts, providing increased accuracy, reduced costs, and process stability.

Keywords: flange, blank, mechanical machining, technological process, machine tool, fixture, tool, clamping force, allowance, modeling, accuracy.

Student: Bagan I. A.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Шуляр Б. Р. доц. каф. КМВ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Конструкторсько-технологічний аналіз		
2	Проектування технології виготовлення деталі		
3	Проектування технологічної оснастки		
4	Дослідження впливу величини припуску на розмірну точність деталі типу "Фланець" засобами чисельного моделювання		
5	Пояснювальна записка		
6	Графічна частина		

Студент _____
(підпис)

Баган І. А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Шуляр Б. Р.
(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	7
1. Технологічна частина.....	8
1.1 Опис призначення та аналіз технічних вимог до деталі.....	8
1.1.1 Опис призначення деталі і її функції у вузлі.....	8
1.1.2 Точність, шорсткість поверхонь і їх взаємне розміщення.....	10
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	12
1.3 Визначення програми випуску деталей.....	17
1.4 Вибір способу отримання заготовки.....	20
1.5 Розробка маршруту обробки деталі.....	24
1.6 Призначення припусків на механічну обробку поверхонь.....	26
1.7 Розрахунок режимів різання і основного часу.....	29
1.8 Технічне нормування операцій.....	36
2 Конструкторська частина.....	43
2.1 Пристрій для механічної обробки.....	43
2.1.1 Опис призначення, конструкції і принципу роботи пристрою..	43
2.1.2 Вибір типу затискача, його конструктивних розмірів.....	44
2.1.3. Розрахунок на міцність та зносостійкість найбільш навантажені та рухомі елементи пристрою.....	47
2.2 Контрольний пристрій.....	48
2.3 Розрахунок та конструювання різального інструменту.....	49
3. Дослідження впливу величини припуску на розмірну точність деталі типу "Фланець" засобами чисельного моделювання.....	53
Список використаної літератури.	61
Додатки.....	63

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ			
Змни	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Баган І. А.			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							6	
Реценз.						ІФНТУНГ		
Н. Контр.								
Затверд.								

Вступ

У сучасних умовах машинобудівної галузі важливого значення набуває раціональна організація технологічних процесів виготовлення деталей, що забезпечує підвищення продуктивності, зниження витрат, покращення якості продукції та конкурентоспроможності підприємства. Одним із основних напрямів підвищення ефективності виробництва є розробка і впровадження оптимальних технологічних процесів, адаптованих до конкретного типу виробництва.

Бакалаврська робота присвячена розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець ФС-01.320190.40» в умовах середньосерійного типу виробництва. Такий тип виробництва характеризується випуском продукції серіями, що періодично повторюються, і потребує гнучкості процесів при одночасному забезпеченні стабільної якості виготовлених деталей. Особливості середньосерійного виробництва вимагають ефективного використання обладнання, раціонального підбору оснащення, засобів технологічного контролю, а також економічно обґрунтованого вибору технологічних маршрутів.

У роботі проаналізовано конструкцію деталі, обґрунтовано вибір заготовки, розроблено маршрут обробки, підбрано устаткування та інструмент, а також проведено розрахунки, необхідні для визначення режимів обробки. Крім того, особливу увагу приділено забезпеченню точності, якості обробки та економічності виробництва.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець ФС-01.320190.40» з урахуванням вимог середньосерійного типу виробництва, забезпечення високих техніко-економічних показників та відповідності вимогам технічної документації.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 Технологічна частина

1.1 Опис призначення та аналіз технічних вимог до деталі

1.1.1 Опис призначення деталі і її функції у вузлі

Деталь «Фланець ФС-01.320190.40» на мою думку є допоміжним елементом механічного вузла, основне призначення якого полягає в забезпеченні точного базування та жорсткого кріплення інших деталей конструкції. Вона не виконує функцій передачі крутного моменту, натомість слугує монтажною основою для встановлення кришки або суміжних елементів вузла.

Конструкція фланця передбачає п'ять отворів $\varnothing 18$ мм, розташованих по колу $\varnothing 280$ мм, які слугують базовими елементами при складанні. Ці отвори обробляються у складеному стані, що забезпечує високу точність взаємного розташування деталей. Окрім того, на фланці розміщено шість різьбових отворів М6–7Н по колу $\varnothing 230$ мм, призначених для надійного закріплення кришки або з'єднувального елемента.

Деталь має габарити: зовнішній діаметр $\varnothing 320$ мм, висота — 90 мм. Центральний отвір $\varnothing 140$ мм не виконує функцій зачеплення чи передачі зусиль, а забезпечує прохід або розміщення інших компонентів вузла. Базовою поверхнею для встановлення фланця слугує циліндрична посадка діаметром $\varnothing 220H11$, яка забезпечує точність монтажу в корпус або інший приймальний елемент.

Матеріалом виготовлення деталі є конструкційна легована сталь 40Х згідно з ДСТУ 4543–71. Вибір цієї марки сталі обумовлений потребою у забезпеченні міцності, стабільності форми та зносостійкості. Поверхня деталі підлягає хімічному оксидуванню, що покращує її антикорозійні властивості.

Таким чином, *фланець ФС-01.320190.40* виконує роль базового та монтажного елемента в складі вузла, забезпечуючи точність складання, фіксацію та взаємне розташування з'єднаних компонентів.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалів.

Матеріал	Марка	C	Mn	Cr	P	S	Si
Використаний	40X	0,4	0,5...0,8	0,01	0,045	0,055	0,15-0,35

Таблиця 1.2 – Механічні властивості матеріалів.

Матеріал	Матеріал	σ_T , МПа	$\sigma_{вр}$, МПа	σ_z , %	ψ , %	ρ , Дж/см ²	НВ
Використаний	40X	550	780	12	12	7850	288

де: ρ - густина матеріалу;

$\sigma_{вр}$ – межа міцності при розтягуванні;

σ_T – межа текучості;


НВ – міцність по Брінелю.

1.1.2 Точність, шорсткість поверхонь і їх взаємне розміщення

Технологічні вимоги до деталі *ФС-01.320190.40* передбачають забезпечення високої точності розмірів і взаємного розташування поверхонь, що впливає на надійність її функціонування у складі вузла.

Таблиця 1.3 – Характеристика поверхонь деталі (Фланець *ФС-01.320190.40*)

№	Поверхня, конфігурація, призначення поверхонь	Розміри, мм	Квалітет Точності	Точність форми	Шорстк., Ra
1	2	3	4	5	6
1	Торець	190	14	—	6,3
2, 76	Фаска. Вільна поверхня	1,6x45 ⁰	14	—	6,3
3	Внутрішня циліндрична поверхня	Ø205	11	—	1,6
4	Канавка	Ø206	14	—	6,3
5	Торець	15	14	—	6,3
54 - 59	Фаска. Вільна поверхня	1x45 ⁰	14	—	6,3
60 - 65	Метрична різьба	M6	7		3,2
66 - 71	Отвір під різьбу M6	Ø 5	14	—	6,3
72	Зовнішня циліндрична пов.	Ø230	14	—	6,3
73	Торець	25	14	—	6,3
74	Зовнішня циліндрична пов.	Ø230	14	—	6,3
75	Торець	190	14		6,3
77	Внутрішня циліндрична пов.	Ø220	11	—	3,2
78	Торець	10	14	—	6,3
79	Внутрішня циліндрична	Ø205	14	—	6,3

	пов.				
80	Торець	140	14	—	6,3
81 - 83	Отвір	Ø18	14		6,3

Таким чином, точність геометрії, мінімальна шорсткість робочих поверхонь та контроль взаємного розташування забезпечують надійну роботу деталі у складі вузла, зменшують зношування, спрощують процес збирання і підвищують загальну якість продукції.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінювання технологічності конструкції деталі *фланець ФС-01.320190.40* здійснюється за кількома ключовими параметрами: можливість виготовлення заготовки, точність виконання елементів, шорсткість оброблених поверхонь та оброблюваність різанням.

Оцінка за параметром “можливість виготовлення заготовки”

Технологічність конструкції за даним параметром визначається оптимальним вибором матеріалу та методу отримання заготовки, що забезпечують мінімальні витрати ресурсів при досягненні необхідної якості, з урахуванням умов середньосерійного виробництва та обсягу випуску.

Для деталі типу фланець, виготовленої зі сталі 40Х, доцільним і економічно обґрунтованим методом отримання заготовки є штамповка. Цей метод дозволяє сформувати заготовку з мінімальними припусками, максимально наближену до контурів готового виробу, що значно зменшує обсяг подальшої механічної обробки.

Відповідно до ГОСТ 7505–89, сталь 40Х належить до другої групи матеріалів із вмістом вуглецю від 0,35% до 0,65%, що забезпечує її добру здатність до гарячої деформації, зокрема штампування та гарячого прокатування. Такі властивості матеріалу дозволяють виготовляти заготовки високої якості зі стабільною структурою.

Отже, за параметром “можливість виготовлення заготовки” конструкція деталі *Фланець ФС-01.320190.40* є технологічно раціональною і забезпечує умови для ефективного виготовлення в умовах серійного або середньосерійного виробництва.

Оцінка за параметром “точність”

Технологічність конструкції деталі за параметром “точність” визначається раціональним вибором класів точності окремих поверхонь, що дозволяє досягти заданих функціональних характеристик при мінімальних витратах ресурсів на обробку й експлуатацію виробу в умовах заданого обсягу

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

випуску. Визначальним фактором є середній рівень точності поверхонь, що дозволяє оцінити загальний рівень вимог до виготовлення.

Для оцінки точності деталі *Фланець ФС-01.320190.40* розраховано середній квалітет точності на основі аналізу всіх поверхонь, результати якого наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Точність поверхонь деталі

№ пов.	Квалітет точності (T_i)	Кількість поверхонь (n_i)	$T_i \cdot n_i$
60-65	7	6	42
6-53	8	48	384
3,77	11	2	22
Інші	14	27	378
		$\Sigma n_i = 83$	$\Sigma T_i \cdot n_i = 826$

Середня точність поверхонь становить

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{826}{83} = 9,95$$

Отже, середня точність поверхонь є невисокою, що свідчить про можливість обробки більшості поверхонь на металообробному обладнанні загального призначення із застосуванням продуктивних методів обробки. Це значно підвищує загальну технологічність деталі та знижує витрати на її виготовлення.

Оскільки деталь має форму тіла обертання, доцільно приймати вісь деталі як основну технологічну базу для забезпечення точності діаметральних розмірів. В осьовому напрямку зручно використовувати один із торців як базову поверхню. Така схема базування легко реалізується за допомогою трьохкулачкового самоцентруючого патрона при токарній обробці зовнішніх поверхонь. У разі обробки отворів або площин можна застосовувати призматичні або спеціалізовані пристрої.

Розташування розмірів на кресленні в цілому виконано вдало, проте частина лінійних розмірів нанесена від різних торців, що може вимагати

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

уточнення або перерахунку при підготовці керуючих програм або технологічної документації.

Узагальнюючи вищенаведене, можна зробити висновок, що деталь Фланець ФС-01.320190.40 за параметром "точність" є технологічною, оскільки не містить критично точних поверхонь, які потребували б спеціального обладнання чи надмірно складних методів обробки.

Оцінка за параметром "шорсткість"

Технологічність конструкції деталі за параметром "шорсткість" визначається доцільним вибором класів шорсткості поверхонь, який дозволяє забезпечити необхідну якість поверхонь при оптимальних витратах часу, інструменту та енергоресурсів у процесі виготовлення. Шорсткість поверхонь має відповідати експлуатаційним вимогам, не перевищуючи доцільний рівень точності, що дозволяє зберегти економічну ефективність виробництва.

Для оцінки даного параметра здійснено аналіз шорсткості всіх поверхонь деталі Фланець ФС-01.320190.40, результати якого наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Шорсткість поверхонь деталі.

№ пов.	Клас шорсткості(ш _i)	Кількість поверхонь (n _i)	ш _i ·n _i
3, 6-53	Ra 1,6 (6)	49	78,4
60-65, 77	Ra 3.2 (5)	7	22,4
інші	Ra 6.3 (4)	27	170,1
		Σn _i = 83	Σш _i ·n _i = 270,9

Середня шорсткість становить

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{270,9}{83} = 3.26$$

Отже, середній клас шорсткості поверхонь деталі можна охарактеризувати як середній, що свідчить про загальну технологічність конструкції. Найнижча шорсткість (Ra 1,6 мкм) встановлена для відповідальних циліндричних поверхонь, зокрема внутрішнього діаметра ø205 мм, які

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

потребують чистової обробки з низькою продуктивністю. Дещо вища шорсткість (Ra 3,2 мкм) передбачена для посадкової циліндричної поверхні $\varnothing 220$ мм, яка виконує базову функцію. Решта поверхонь мають шорсткість Ra 6,3 мкм, що дозволяє їх обробку високопродуктивними методами на звичайному токарному або фрезерному обладнанні.

З огляду на те, що деталь є тілом обертання, основним методом її обробки є точіння. Поверхні з шорсткістю Ra 6,3 формуються за допомогою чорнового та чистового точіння (для циліндричних поверхонь) або одноразового фрезерування та підрізання (для площин). Поверхні з шорсткістю Ra 3,2 зазвичай отримують шляхом точнішої токарної обробки або фрезерування з меншими подачами. Найвідповідальніші поверхні з Ra 1,6 вимагають застосування високоточних методів — точного точіння з малими подачами або розточування з шліфуванням.

У підсумку можна стверджувати, що деталь Фланець ФС-01.320190.40 за параметром “шорсткість” є технологічною, оскільки більшість поверхонь допускає застосування продуктивних методів обробки, а окремі високоточні поверхні обґрунтовано виділені для забезпечення функціональних вимог.

Оцінка за параметром “оброблюваність різанням”

Оброблюваність різанням визначається як властивість матеріалу піддаватися обробці різальним інструментом із забезпеченням належної якості обробленої поверхні, необхідної точності, а також з мінімальними зусиллями, зношуванням інструменту та витратами часу.

Технологічність конструкції деталі Фланець ФС-01.320190.40 за цим параметром обумовлюється раціональним вибором матеріалу. В даному випадку використовується конструкційна легована сталь 40Х, яка, згідно з даними по оброблюваності сталей, має коефіцієнт $K_v = 0,8$. Це свідчить про задовільну оброблюваність різанням, що дозволяє ефективно застосовувати стандартні режими різання при забезпеченні необхідної шорсткості оброблених поверхонь без надмірного зносу інструменту.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		15

Конструктивне виконання деталі також сприяє ефективній обробці. Фланець має жорстку форму, що зменшує деформації при закріпленні та обробці, а також дозволяє забезпечити достатню точність без ускладнень. Усі основні поверхні мають зручний доступ для обробки, що забезпечує можливість застосування стандартних схем базування — зокрема, використання трьохкулачкового патрона для точіння зовнішніх циліндричних поверхонь, а також простих пристроїв для фрезерування площин і свердління отворів.

Таким чином, з огляду на задовільну оброблюваність матеріалу і конструктивну простоту, деталь Фланець ФС-01.320190.40 за параметром “оброблюваність різанням” є технологічною, не створює труднощів при обробці та не потребує спеціального обладнання чи інструменту.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.3 Визначення програми випуску деталей

Тип виробництва для виготовлення деталі Фланець ФС-01.320190.40 приймається як середньосерійний, що передбачає багаторазове повторення виробів партіями з відносно стабільною технологією. Такий тип виробництва поєднує гнучкість одиничного виробництва з ефективністю серійного, дозволяючи оптимізувати витрати часу, праці та засобів при забезпеченні належного рівня якості.

Режим роботи підприємства – двозмінний, що дозволяє забезпечити вищу продуктивність при використанні того самого устаткування. Це також впливає на річний фонд часу, який приймається з урахуванням втрат на обслуговування, ремонт та простої.

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання згідно з нормативними джерелами (ст. 22, табл. 2.1 [6]) становить:

$$F_d=4029 \text{ год./рік}, \quad F=251 \text{ робочий день на рік}$$

Для однієї зміни, за умови 8-годинного робочого дня: $F_o=480 \text{ хв.}$

Приймаємо нормативний коефіцієнт завантаження обладнання: $K_z=0,8$.

Періодичність запуску партій деталей у виробництво згідно нормативів (ст. 23, табл. 2.1 [6]) становить: $a=12$

Розрахунок штучно-калькуляційного часу

Для розрахунку штучно-калькуляційного часу ($T_{штк}$) на кожну операцію використовується формула:

$$T_{штк} = \varphi_k \cdot T_o,$$

де T_o — основний (чистий) машинний час обробки операції,

φ_k коефіцієнт переводу у штучно-калькуляційний час, залежно від типу виробництва та виду операції.

Операції 005, 010, 060 (заготівельна, термічна, контрольна) у розрахунок не включаються.

Операція 015 $T_{штк}=1,75 \cdot 8,71=15,24 \text{ хв.}$

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Операція 020 $T_{штк}=1,75 \cdot 9,10=15,92$ хв.
 Операція 025 $T_{штк}=1,75 \cdot 1,48=2,59$ хв.
 Операція 030 $T_{штк}=1,75 \cdot 1,52=2,66$ хв.
 Операція 035 $T_{штк}=1,67 \cdot 0,48=0,80$ хв.
 Операція 040 $T_{штк}=1,45 \cdot 0,91=1,32$ хв.
 Операція 045 $T_{штк}=1,45 \cdot 7,34=10,64$ хв.
 Операція 050 $T_{штк}=1,45 \cdot 1,89=2,74$ хв.
 Операція 055 $T_{штк}=1,73 \cdot 8,56=14,81$ хв.

Трудомісткість операцій обробки базової деталі заносимо в таблицю 1.6

Таблиця 1.6 – Трудомісткість операцій обробки деталі.

№ опер.	Назва операції	T_0 , хв.	ϕ_k	$T_{ш-к}(T_{шт})$, хв
1	2	3	4	5
005	Заготівельна	—	—	—
010	Термічка	—	—	—
015	Токарно-гвинторізна	8,71	1,75	15,24
020	Токарно-гвинторізна	9,10	1,75	15,92
025	Токарно-гвинторізна	1,48	1,75	2,59
030	Токарно-гвинторізна	1,52	1,75	2,66
035	Універсально-фрезерна	0,48	1,67	0,80
040	Радіально свердлильна	0,91	1,45	1,32
045	Радіально свердлильна	7,34	1,45	10,64
050	Радіально свердлильна	1,89	1,45	2,74
055	Зубодовбальна	8,56	1,73	14,81
060	Контрольна	—	—	—
Трудомісткість виготовлення деталі: $\sum T_{шт}$				66,72
Середній штучний час: $T_{шт.сер}$				7,41

Сумарна трудомісткість виготовлення однієї деталі становить:

$$\sum T_{шт} = 15,24 + 15,92 + 2,59 + 2,66 + 0,80 + 1,32 + 10,64 + 2,74 + 14,81 = 66,72 \text{ хв.}$$

Середній штучний час обробки:

$$T_{шт.сер} = \frac{\sum T_{шт.}}{n} = \frac{66,72}{9} = 7,41 \text{ хв.}$$

де $n = 9$ — кількість операцій на металорізальних верстатах.

Розрахунок річної програми випуску

Для визначення річного обсягу виготовлення деталей розраховується такт випуску та порівнюється з потужністю устаткування. Розрахункова річна програма виготовлення деталей визначається з урахуванням трудомісткості обробки, режиму роботи, завантаження верстатів, коефіцієнта закріплення операцій та фондового часу.

Такт випуску деталей:

$$t_s = k_c \cdot T_{шт.сер} = 15 \cdot 7,41 = 111,15 \text{ хв.}$$

$k_s = 15$ — коефіцієнт закріплення операцій для середньосерійного виробництва ($10 \leq k_s \leq 20$).

Річна програма випуску деталей:

$$N = \frac{F_0 \cdot 60}{t_s} = \frac{4029 \cdot 60}{111,15} = \frac{241740}{111,15} = 2174,9 \text{ шт.} \quad N=2200 \text{ шт/рік}$$

Визначення обсягу виробничої партії

Розрахункова кількість деталей в партії:

$$n_p = \frac{N \cdot a}{F} = \frac{2200 \cdot 12}{251} = 105,18 \text{ шт.}$$

Кількість змін, необхідних для обробки однієї партії, визначається за формулою:

$$C_p = \frac{T_{шт.сер} \cdot n_p}{F_0 \cdot 0,8} = \frac{7,41 \cdot 105,18}{480 \cdot 0,8} = \frac{779,38}{384} = 2,03 \text{ зміни} \quad C_p = 2 \text{ зміни}$$

Прийнятий обсяг партії:

$$n_0 = \frac{C_p \cdot F_0 \cdot 0,8}{T_{шт.сер}} = \frac{2 \cdot 480 \cdot 0,8}{7,41} = 103,6 \text{ шт.} \quad n_0 = 105 \text{ шт.}$$

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.4. Вибір способу отримання заготовки

На вибір оптимального способу виготовлення вихідної заготовки впливає низка ключових технологічних і виробничих факторів, серед яких:

- вид матеріалу та його фізико-механічні властивості;
- серійність виробництва (обсяг випуску деталей);
- форма та габарити деталі;
- рівень точності, що вимагається;
- виробничі можливості заготівельного підрозділу підприємства.

З урахуванням того, що деталь *Фланець ФС-01.320190.40* має складну зовнішню геометрію, виготовляється в умовах середньосерійного виробництва зі сталі 40Х, а також потребує забезпечення жорсткості та точності базових поверхонь, доцільним є застосування гарячого *штампування* як методу отримання заготовки. Такий підхід дозволяє сформувати геометрично наближену до готового виробу заготовку з мінімальними припусками на механічну обробку.

Розрахунок маси штампованої заготовки

Для обліку технологічних припусків масу заготовки визначаємо з урахуванням коефіцієнта масового запасу:

$$M_{заг} = M_{дет} * K_n$$

Де $M_{дет}=20,0$ кг – маса готової деталі (за кресленням), $K_n=1,6$ – коефіцієнт запасу згідно з табл. 20 додатку 3 (ст. 32 [2]).

$$M_{заг} = 20,0 * 1,6 = 32,0 \text{ кг}$$

Визначення класу точності та групи сталі

Клас точності заготовки, виходячи з геометричних вимог і методики виготовлення, приймається Т5 (дод. 1, ст. 29 [2]). Матеріалом заготовки є сталь 40Х, яка, відповідно до хімічного складу (вміст вуглецю 0,4%, легуючих елементів <2%), належить до групи М2 згідно з табл. 1, ст. 9 [2].

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Оцінка ступеня складності штамповки

Оцінювання складності виготовлення заготовки передбачає порівняння розрахункової маси деталі з масою фігури, що її описує. Для цього визначається маса ідеалізованої об'ємної фігури:

$$M_{\text{заг}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho$$

$$V_{\text{ф}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h = \frac{3.14(32,0 \cdot 1,05)^2}{4} 1,9 \cdot 1,05 = 18,35$$

$$M_{\text{заг}} = V_{\text{ф}} \cdot \rho = 18,35 \text{ см}^3 \cdot 7.8 = 143 \text{ кг}$$

Ступінь складності визначається за співвідношенням:

$$\frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заг}}} = \frac{32,00}{143} = 0.224$$

Відповідно до ГОСТ 7505-89, ступінь складності $C \approx 2$ відповідає заготівці середнього рівня технологічної складності. Вихідний індекс для даного випадку визначається за табл. 2 (ст. 10 [5]) та приймається рівним 19.

Розрахунок розмірів заготовки з урахуванням припусків

Розрахункові габаритні розміри заготовки визначаються з урахуванням припусків, які враховують можливі відхилення від площинності, нерівномірності деформації та усадку матеріалу при гарячому штампуванні:

Номинальний розмір	Формула	Прийнятий розмір, мм
Ø320	$320 + (4,3 \cdot 2)$	328,6
Ø230	$230 + (4,3 \cdot 2)$	238,6
Ø205	$205 - 3,8$	201,2
Ø184	$184 - 3,8$	180,2
190	$190 + (4,7 + 0,8)$	195,5
140	$140 + (5,5 - 5,5)$	140,0
25	$25 + (3,0 + 0,8)$	28,8

Відповідні допуски обираються за табл. 8 (літ. [5]).

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$G_{\text{ЗАГ}} = V_{\text{ЗАГ}} \cdot \rho = 3505,528 \cdot 7.81 = 27,37 \text{ кг}$$

Коефіцієнт витрати матеріалу

Коефіцієнт витрати матеріалу характеризує ефективність використання металу при виготовленні заготовки:

$$k = G_{\text{дет}} / G_{\text{заг}} \quad k = \frac{20,0}{27,37} = 0.731$$

Отже вибір гарячої штамповки як способу виготовлення заготовки для деталі *Фланець ФС-01.320190.40* є технічно і економічно обґрунтованим. Такий метод дозволяє отримати заготовку з мінімальними припусками, необхідною структурною однорідністю та високою стабільністю геометричних параметрів. Обраний матеріал – сталь 40Х – забезпечує достатню міцність при задовільній оброблюваності різанням. Оцінка ступеня складності, припусків і маси заготовки свідчить про достатню технологічність деталі, а коефіцієнт використання матеріалу демонструє ефективне ресурсозбереження при виробництві.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1.5 Розробка маршруту обробки деталі

Одним із ключових етапів у підготовці виробництва є розробка проектного варіанту технологічного процесу, який забезпечує виготовлення деталі з необхідними технічними характеристиками. Технологічний процес є системою взаємопов'язаних операцій, кожна з яких спрямована на поступове формування заданої геометрії, точності та шорсткості поверхонь. Під час розробки маршруту враховуються конструктивні особливості деталі, тип виробництва, обладнання та технологічні можливості підприємства. Особлива увага приділяється вибору раціональних методів обробки та пристроїв, які забезпечують базування і закріплення деталі з мінімальними витратами часу та ресурсів.

На основі вихідних даних було розроблено проектний маршрут механічної обробки деталі *Фланець ФС-01.320190.40* представлений у табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Проектний маршрут механічної обробки деталі

№ опер.	Назва і зміст операції	Модель верстату	Пристрій
1	2	3	4
005	Заготівельна(штамповка)	—	—
010	Термічна	—	—
015	Токарно-гвинторізна (чорнова зправа) <i>Точити пов. 75</i> <i>Розточити пов. 79</i> <i>Розточити пов. 77</i> <i>Точити пов. 74</i>	Токарно- гвинторізний моделі 1М63	Патрон 7100-0016 ДСТУ 2675-81
020	Токарно-гвинторізна (чорнова зліва) <i>Точити пов. 1</i> <i>Розточити пов. 5</i>	Токарно- гвинторізний моделі 1М63	Патрон 7100-0016 ДСТУ 2675-81

	<i>Розточити пов. 6</i> <i>Точити пов. 72</i> <i>Точити пов. 73</i>		
025	Токарно-гвинторізна (чистова зправа) <i>Точити пов. 75</i> <i>Розточити пов. 77</i> <i>Точити пов. 76</i>	Токарно- гвинторізний моделі 1М63	Патрон 7100-0016 ДСТУ 2675-81
030	Токарно-гвинторізна (чистова зліва) <i>Розточити пов. 3</i> <i>Розточити пов. 4</i> <i>Розточити пов. 6</i> <i>Точити пов. 2</i>	Токарно- гвинторізний моделі 1М63	Патрон 7100-0016 ДСТУ 2675-81
035	Сверлильна з ЧПК <i>Обробити пов. 60-65, 54 - 59</i>	Свердлильний з ЧПК мод. Knuth KSB 40	Кондуктор
040	Сверлильна з ЧПК <i>Свердлити пов. 81 – 83</i>	Свердлильний з ЧПК мод. Knuth KSB 40	Кондуктор
045	Контрольна	—	—
050	Гальванічна	—	—

Проектний технологічний маршрут передбачає послідовне виконання комплексу механічних і допоміжних операцій, що забезпечують виготовлення деталі *Фланець ФС-01.320190.40* відповідно до вимог креслення та технічної документації. Запропоновані методи обробки і застосоване обладнання дозволяють досягнути потрібної точності та якості поверхонь при оптимальних витратах виробничого часу. Базування на універсальному токарному обладнанні типу 1М63, застосування ЧПК-свердлильних верстатів та зубодовбальної машини забезпечують високу гнучкість і технологічність процесу, що відповідає умовам середньосерійного виробництва.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.ПМ-573.00.000 ПЗ					25

1.6 Призначення припусків на механічну обробку поверхонь

У процесі виготовлення будь-якої деталі важливе місце займає визначення припусків на механічну обробку. Припуск — це шар матеріалу, який необхідно зняти із заготовки для досягнення заданих розмірів, точності та шорсткості поверхні. Величина припуску повинна бути економічно обґрунтованою та технічно доцільною, адже вона безпосередньо впливає на витрати часу, інструменту та матеріалу. Надмірні припуски призводять до перевитрати ресурсів, тоді як недостатні — до недосягнення розмірних і якісних характеристик. Тому розрахунок припусків повинен враховувати вид заготовки, метод обробки, жорсткість і точність обладнання, а також характеристики матеріалу.

Досягнення необхідної точності та якості оброблюваних поверхонь передбачає реалізацію технологічного процесу механічної обробки, при якому знімається шар металу, що й називається припуском. Завищені припуски призводять до перевитрати матеріалу, збільшення кількості технологічних переходів, підвищеної трудомісткості, зростання зносу інструменту та споживання енергії, що в результаті збільшує собівартість продукції. Крім того, з надмірним припуском може бути знято поверхневий шар заготовки, який має найкращі механічні властивості, а це негативно впливає на довговічність деталі. З іншого боку, надто малі припуски не дозволяють повністю усунути дефектні поверхневі шари та досягти необхідної точності, що також сприяє зростанню кількості браку. Саме тому призначення оптимальних припусків і допусків на розміри є важливим техніко-економічним завданням, яке повинне вирішуватись на етапі проектування технологічного процесу.

У даному випадку розглядається розрахунок припусків на механічну обробку внутрішньої циліндричної поверхні \emptyset , яка формується в деталі Фланець ФС-01.320190.40. Спосіб отримання заготовки — штамповка, габаритний розмір по зовнішньому діаметру заготовки становить $\emptyset 328,6$ мм.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Точність оброблюваної внутрішньої поверхні задається в полі Н8, що вимагає послідовної обробки в кілька переходів — чорнове та чистове точіння.

Таблиця 1.6.1.1 – Характеристики обробки внутрішньої поверхні $\varnothing 184H8^{(+0.072)}$

Назва операції	Заготовка	Чорнове точіння	Чистове точіння
Поле допуску	<i>IT14</i>	<i>H12</i>	<i>H8</i>
Відхилення, мм	+4.2 -2.1	+0,46	+0.072
Розміри після обробки, мм	$\varnothing 176.4^{(+4.2)}_{(-2.1)}$	$\varnothing 180.6 H12^{(+0,46)}$	$\varnothing 182,8H8^{(+0.072)}$

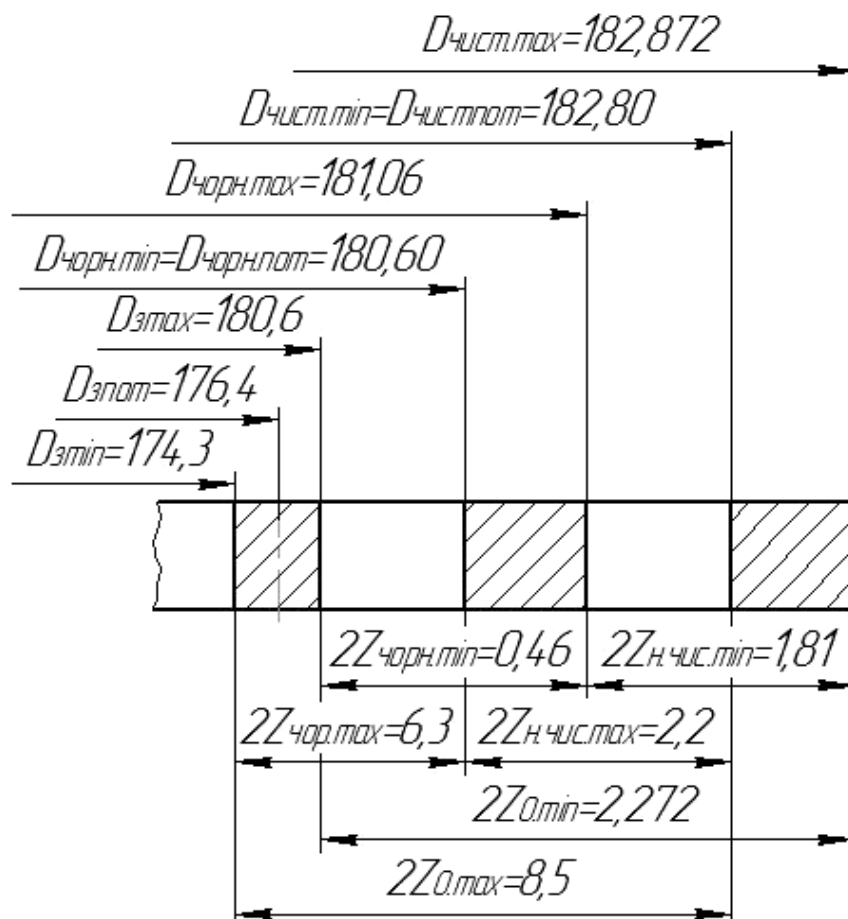


Рис. 1 – Схема розташування полів допусків і припусків на обробку отвору $\varnothing 184H8^{(+0.072)}$

Отже розрахунок припусків на механічну обробку є важливим етапом у проектуванні технологічного процесу, адже забезпечує оптимальний баланс між точністю, якістю поверхонь і витратами на обробку. У випадку внутрішньої циліндричної поверхні деталі фланця правильне визначення послідовності обробки та значень припусків дозволяє досягти точності Н8 без перевитрат матеріалу та ресурсів. Чітке розмежування між чорновим і чистовим етапами гарантує видалення дефектного шару та отримання стабільної геометрії. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності виробництва, зменшенню браку та зниженню собівартості готової продукції.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

1.7 Розрахунок режимів різання і основного часу

Одним із ключових етапів технологічного проектування є встановлення раціональних режимів різання, які забезпечують ефективну та безпечну обробку матеріалу з дотриманням вимог точності, шорсткості та економічності. Параметри режимів різання — це основа для вибору інструменту, визначення тривалості операцій, потужності приводу та загального часу виготовлення деталі. При цьому враховується тип обладнання, фізико-механічні властивості матеріалу, тип обробки, розміри інструмента, а також вимоги до оброблюваної поверхні.

У даному випадку розглядається операція 040 – свердління отворів на радіально-свердлильному верстаті, згідно із технологічною картою. Схему обробки наведено в карті операційних ескізів

Перехід 1: Свердління отворів Ø18

Вибір ріжучого інструмента, матеріалу та геометрії.

Вибираємо свердло спіральне з конічним хвостовиком

Свердло 2301-0076 ГОСТ 10903-77.

Діаметр свердла 18 мм

1. Знаходимо величину подачі.

Орієнтовне значення подачі приймається за табличними даними (к41, ст. 103 [8]) та коригується відповідно до паспортних даних верстата

$$S_m = 0,39 / 0,47 \text{ мм/об}$$

коректуємо це значення по паспортних даних верстату і приймаємо

$$S_d = 0,4 \text{ мм/об}$$

4. Знаходимо швидкість різання за табличним значенням:

$$V_{\text{таб}} = 27,5 \text{ м/хв к.41ст.104}$$

Оскільки всі поправочні коефіцієнти (на матеріал, конструкцію інструмента, тип отвору тощо) дорівнюють 1, то дійсне значення залишається незмінним:

$$V_{\text{таб}} = 27,5 \text{ м/хв}$$

5. Знаходимо частоту обертів шпинделя по формулі:

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 27,5}{3,14 \cdot 18} = 398 \text{ хв}^{-1}$$

Коригується за паспортом верстата, приймається стандартне значення $n = 480$ об/хв.

6. Знаходимо дійсну швидкість різання.

$$V_{\partial} = \frac{\pi D n \delta}{1000} = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 355}{1000} = 26,6 \text{ м/хв}$$

7. Потужність різання (N).

$$N < 1,1 \text{ кВт.}$$

8. Перевірка достатності потужності приводу:

Згідно умови:

$$N \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta \quad 1,1 < 1,6 \cdot 0,8 \quad 1 < 1,28$$

Умова виконується, отже *обробка є можливою при заданому режимі.*

Отже в результаті проведених розрахунків для операції свердління отворів Ø18 мм встановлено, що обрані режими різання є раціональними та допустимими за умовами потужності верстата. Параметри режиму забезпечують ефективну обробку сталі 40Х при дотриманні вимог точності, мінімізації зносу інструмента та енерговитрат. Таким чином, операція може бути впроваджена у виробництво без необхідності доопрацювання технологічного процесу.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Засоби технологічного оснащення

№ опер	Назва операції і зміст переходу	Верстат (модель)	Пристрій	Ріжучий інструмент	Вимірний інструмент	Допоміжний інструмент
1	2	3	4	5	6	7
005	Заготівельна					
010	Термічна					
015	Токарно-гвинторізна	1М63				
	А.Установити і закріпити деталь		Патрон 7100-0016 ГОСТ2675-81р			
	1.Обробити поверхню 75			Різець 2102-0505 Т5К10 ГОСТ18868-73		
	2.Обробити поверхню 74			Різець 2102-0505 Т5К10 ГОСТ 18868-73	Штангенциркуль ШЦ-Ш-400-0,1 ГОСТ 166-79	
	3.Обробити поверхню 77			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ18872-73	Штангенциркуль ШЦ-Ш-400-0,1 ГОСТ 166-79	
	4.Обробити поверхню 78			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,1 ГОСТ 166-79	
	5.Обробити поверхню 79			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангенциркуль ШЦ-Ш-400-0,1 ГОСТ 166-79	
	6.Обробити поверхню 80			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангель глубомер ШГ-160 ГОСТ 162-80	
	Б.Зняти деталь					
020	Токарно-гвинторізна	1М63				

БР.ПМ-573.00.000 ПЗ

Змн.

Арк.

№ докм.

Підпис

Дата

Арк.

Змн.	
Арк.	
№ док-т	
Підпис	
Дата	
БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	
Арк.	

	А.Установити і закріпити деталь		Патрон 7100-0016 ГОСТ2675-81р		
	1.Обробити поверхню 1			Різець 2102-0505 Т5К10 ГОСТ18868-73	Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79 ГОСТ 166-70
	2.Обробити поверхню 72			Різець 2112-0059 Т5К10 ГОСТ 18879-73	Штангельциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79
	3.Обробити поверхню 73			Різець 2112-0059 Т15К16 ГОСТ 18879-73	Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79
	4.Обробити поверхню 3			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79
	5.Обробити поверхню 5			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангельциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-79
	6.Обробити поверхню 6			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангельциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-79
	Б.Зняти деталь				
025	4114 Токарно-гвинторізна	381148 1М63			
	А.Установити і закріпити деталь		Патрон 7100-0016 ГОСТ2675-81р		
	1.Обробити поверхню 75			Різець2102-0505 Т5К10ГОСТ18868-73	

Змн.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дата	
БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	
Арк.	

	2.Обробити поверхню 77			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79	
	3.Обробити поверхню 76			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Спец шаблон	
	Б.Зняти деталь					

1	2	3	4	5	6	7
030	Токарно-гвинторізна	1М63				
	А.Установити і закріпити деталь		Патрон 7100-0016 ГОСТ2675-81р			
	1.Обробити поверхню 3			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Пробка 8140-0192Н8 ГОСТ 14829-69 Пробка 8140-0131Н8 ГОСТ 14822-69	
	2.Обробити поверхню 5			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-80 ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-70	
	3.Обробити поверхню 4			Різець 2141-0509 Т5К10 ГОСТ 18872-73	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-80 ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-70	

Змн.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дата	

БР.ПМ-573.00.000 ПЗ

	4.Обробити поверхню 6			Різець 2140-0084 T15K6 ГОСТ 18882-79	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-80	
	5.Обробити поверхню 2			Різець 2140-0084 T15K6 ГОСТ 18882-79	Спец шаблон	
	Б.Зняти деталь					
045	Свердлильна з ЧПК	Knuth KSB 40				
	А.Установити і закріпити		Кондуктор			
	1.Обробити поверхню 60 - 65			Свердло 2301-0023 ГОСТ 10903-77	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-87 Калібр- пробка 8221-3044 7Н ГОСТ 17758-72	Втулка 6100-0141 ГОСТ 13598-68
	2.Обробити поверхню 54 - 59			Зенковка 2353-0022 ГОСТ 14953-69	Спец шаблон	Втулка 6100-0144 ГОСТ 13588-58
	3 Обробити поверню 60 - 65			Міччик 2592-2211 Н3 ГОСТ 3266-81	Калібр- пробка 8221-3044 7Н ГОСТ 17758-72 Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79	Патрон 6163-0002 ГОСТ 8255-75
	Б. Зняти деталь					
050	Свердлильна з ЧПК	Knuth KSB 40				

Арк.

	А. Установити і закріпити		Кондуктор			
	1. Обробити поверхню 81-83			Свердло 2301-0076 ГОСТ 10903-77	Калібр пробка 8133-0936 ГОСТ 14810-69 Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-79	Втулка 6100-0143 ГОСТ 13588-58 Втулка 6100-0144 ГОСТ 13588-58
	Б. Зняти деталь					
	Контрольна					
	Гальванічна					

Змін

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

БР.ПМ-573.00.000 ПЗ

Арк.

1.8 Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу є невіддільною складовою техніко-економічного обґрунтування технологічного процесу. Точність визначення режимів різання, машинного і допоміжного часу дає змогу ефективно планувати виробництво, оптимізувати завантаження обладнання, визначити трудомісткість і собівартість виготовлення деталі. У даному випадку розглядається радіально-свердлильна операція зі свердління отвору діаметром Ø18 мм.

Перехід 1 – Свердління отвору Ø18 мм

1. Знаходимо величину машинного часу

$$T_M = \frac{L}{s \cdot n} \cdot i \cdot C_{T19}[8]$$

де L - довжина ходу свердла

$$L = \ell + \Delta + y$$

ℓ - довжина отвору

$\Delta + y$ – врізання і перебіг

$$\Delta + y = 11 \text{ мм}$$

S мм/об – величина подачі

n – оберти шпинделя

$$T_M = \frac{39}{355 \cdot 0,4} \cdot 3 = 1,21 \text{ хв}$$

2.1 Знаходимо допоміжний час на установку і зняття деталі.

$$T_{уст} = 3,0 \text{ хв. п.15, к.2, ст33[9]}$$

2.2 Знаходимо час зв'язаний з операцією.

$$T_{пер} = 0,50 \text{ хв к.18 ,п.57,ст66[9]}$$

2.3 Знаходимо час який не ввійшов у комплекс

Включити і виключити шпиндель

$$0,02 \cdot 2 = 0,04 \text{ к.29, л.2, ст. 104[9]}$$

Змінити інструмент

$$0,15 \cdot 2 = 0,30 \text{ к.29, л.2, ст104[9]}$$

Поставити кондуктор

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,24 к.9,л.2,п.30,л.2,ст. 200

2.4 Знаходимо допоміжний час на вимірювання та коефіцієнт періодичності промірів.

$$T_{\text{вим}} = 0,07 \text{ хв. К.86 ,л.4,ст188[9]}$$

$$k = 1,0 \text{ к.87,л.1,ст. 200 [9]}$$

$$T_{\text{вим}} = t_{\text{вим}} \cdot k$$

$$T_{\text{вим}} = 0,14 \cdot 1,0 = 0,14 \text{ хв}$$

2.5 Допоміжний час на операцію становитиме

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{нк}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{вим}} = 3,0 + 0,58 + 1,0 + 0,14 = 4,480 \text{ хв.}$$

Враховуємо поправочний коефіцієнт в залежності від тривалості обробки партії деталей.

$$K_{\text{п}} = 0,87 \text{ к.1ст.31 [9]}$$

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{доп-кп}} = 4,480 \cdot 0,87 = 3,89 \text{ хв.}$$

3. Визначаємо величину оперативного часу.

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{доп}}$$

$$T_{\text{оп}} = 1,81 + 3,89 = 5,7076 \text{ хв}$$

4. Визначаємо допоміжний час на обслуговування робочого місця.

$$T_{\text{обс}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot a}{100}$$

де a – час в процентах на обслуговування робочого місця (від оперативного)

$$a = 8 \text{ к.88 л.1, ст.107[9]}$$

$$T_{\text{обс}} = \frac{5,7076 \cdot 8}{100} = 0,493 \text{ хв}$$

5. Знаходимо час на відпочинок і особисті потреби.

$$T_{\text{відп}} = \frac{100 \cdot v}{100}$$

де v – час на відпочинок і особисті потреби (в процентах від оперативного часу).

$$v = 4 \text{ к.88 л.1, ст.203[9]}$$

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{відп}} = \frac{5,7076 \cdot 4}{100} = 0,228 \text{ хв.}$$

6. Знаходимо величину штучного часу

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{відп}}$$

$$T_{\text{шт}} = 5,7076 + 0,493 + 0,228 = 6,4886$$

7. Знаходимо величину підготовчо-заключного часу.

7.1. Час на наладку верстату

$$T_{\text{пз}}' = 13 \text{ хв. п.4,к.3,ст107[9]}$$

7.2. Час на отримання та здачу інструменту.

$$T_{\text{пз}}'' = 7 \text{ хв.п.15 к.3,ст107}$$

Таким чином:

$$T_{\text{пз}} = 13 + 7 = 20 \text{ хв}$$

8. Знаходимо величину штучно-калькуляційного часу.

$$T_{\text{шт.к}} = \frac{T_{\text{пз}}}{n} + T_{\text{шт}}$$

де n – величина партії деталей

$$T_{\text{шт.к}} = \frac{20}{100} + 6,4886 = 6,6886 \text{ хв.}$$

На основі виконаних розрахунків встановлено, що радіально-свердлильна операція може бути виконана в оптимальних умовах при прийнятих режимах різання та облікових нормативах. Обрана подача, частота обертання, швидкість різання та потужність забезпечують якісне формування отвору при раціональних витратах часу. Загальний штучно-калькуляційний час на одну деталь становить 6,34 хв., що є базовим значенням для подальших техніко-економічних розрахунків у рамках усього технологічного процесу виготовлення деталі.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зведена таблиця режимів різання

№	№	Зміст переходу	Д (В) мм	t мм	L мм	i	Табличне значення режимів різання			Прийняті значення режимів різання				Література
							S мм/об	V м/хв	n хв. ⁻¹	S мм/ об	V м/рв	n хв. ⁻¹	N кВт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
015	1	Точити пов. 75	320	4	160	1	0,8-1,2	88	72	0,8	76,7	63	4,1	Ст..36К.1 [8] Ст. 44Л.1 К.6[8] Ст48к.7[8]
	2	Точити пов. 74	320	4,3	25	1	0,8-1,2	99	81	0,8	97,4	80	2,1	
	3	Розточити пов 77	220	2,4	10	5	0,15-0,4	104	142,5	0,3	102,8	125	2,1	
	4	Підрізати пов. 78	220	1	110	1	0,25-0,4	104	128,4	0,3	101,6	125	1,9	
	5	Розточити пов. 79	205	1,9	130	2	0,25-0,4	93	127,4	0,3	91,27	125	2,9	
	6	Підрізати пов. 80	205	2	102	1	0,25-0,4	104	138	0,3	99,5	125	1,9	
020	1	Точити пов. 1	230	5,0	115	1	0,8-1,2	88	93,8	0,8	72,8	80	4,1	Ст..36К.1 [8] Ст. 44Л.1 К.6[8] Ст48к.7[8]
	2	Точити пов. 72	230	4,3	165	1	0,8-1,2	99	109,7	0,8	93,76	100	3,9	
	3	Підрізати пов. 73	320	3,8	45	1	0,8-1,2	99	82,9	0,8	95,5	80	3,9	
	4	Позточити пов. 3	205	2,3	15	8	0,25-0,4	93	118,4	0,3	78,5	100	2,9	
	5	Підрізати пов. 5	205	1	102,5	1	0,25-0,4	104	132,8	0,3	97,8	125	1,9	
	6	Розточити пов 6	184	3,0	35	2	0,25-0,4	93	141,03	0,3	82,4	125	2,0	
025	1	Точити пов. 75	320	1	160	1	0,8-1,2	120	100,56	0,8	119,32	100	3,4	Ст..36К.1 [8] Ст. 44Л.1 К.6[8] Ст48к.7[
	2	Розточити пов. 77	220	1,3	10	1	0,15-0,40	172	211	0,25	162,4	200	2,4	
	3	Точити пов. 76	1,6	2,0	1,6	1	1,0	172	172	1,0	162,5	200	2,4	

БР.ПМ-573.00.000 ПЗ

Арк.

Эмн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата
БР.ПМ-573.00.000 ПЗ				
				Арх.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
														8]
030	1	Розточити пов.3	205	1,3	15	1	0,25-0,3	172	212	0,25	162	200	2,0	Ст..36К.1
	2	Обробити пов. 5	205	2	102,5	1	0,25-0,3	172	253,6	0,25	169,5	250	2,0	[8]
	3	Розточити пов.4	206	1	5	1	0,25-0,3	148	196	0,25	126,57	160	2,0	Ст. 44Л.1
	4	Розточити пов. 6	184	1,3	35	1	0,25-0,3	193	284	0,25	169,56	250	2,4	К.6[8]
	5	Точити пов. 2	1,6	2,0	1,6	1	1,0	193	284	1,0	169,5	250	2,4	Ст48к.7[8]
035	1	Свердлими пов 60-65	5	4,50	16	6	0,22-0,28	27,5	778	0,27	19,7	700	1,0	Ст.109
	2	Зенкерув.пов. 54-59	5	1	14	6	0,1	17,7	556	0,1	17,2	500	-	к.41[8]
	3	Обробити. пов 60-65	6	1	14	6	1,5	11,8	375	1,0	11,7	31,5	0,11	Ст.104 к.42[8]
040	1	Сверд. пов. 81-83	22	11	25	4	0,39-0,47	27,5	398,08	0,4	26,6	355	1,1	Ст.109 к.41[8] Ст.104 к.42[8]

Змін.
Арк.
№ докум.
Підпис
Дата

БР.ПМ-573.00.000 ПЗ

№ операції	Назва операції	модель верстат	Зтос;хв	$\frac{Tn.з}{n}$;хв	t уст; хв	t пер; хв	t ВИМ; хв	t обс; хв	t відп; хв	t ий; хв	t ий.к; хв	Література.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
015	Токарно-гвинторізна	1м63	9,44	0,26	3,0	0,59	1,08	0,243	0,243	14,96	15,22	к1с31;к32;33с6 4к86с191;к19[9]
020	Токарно-гвинторізна	1м63	11,44	0,26	3,0	1,69	0,73	0,264	0,264	17,69	17,95	к1с31;к32;33с6 4к86с191;к19[9]
025	Токарно-гвинторізна	1м63	1,147	0,26	3,0	0,70	0,31	0,106	0,106	5,900	6,160	к1с31;к32;33с6 4к86с191;к19[9]
030	Токарно-гвинторізна	1м63	1,28	0,26	3,0	0,86	0,63	0,21	0,21	5,67	7,21	к1с31;к32;33с6 4к86с191;к19[9]

Арк.

Зведена таблиця норм часу

035	Свердлильна зЧПК	Knuth KSB 40	9,24	0,18	3,0	1,26	1,38	1,636	0,595	7,869	7,969	к.2ст33;к18,ст66 к.29ст104,к86л4 ст188,к88л1ст203 к.30ст107к1ст31[9]
040	Свердлильна зЧПК	Knuth KSB 40	1,81	0,20	3,0	1,0	0,14	0,493	0,17	5,159	5,659	
045	Зубодовбальна	7Д430	8,56	0,14	1,65	1,65	1,65	0,40	0,40	11,02	11,16	К65 ст.155,к1ст31 К88ст203,к66 Ст156,к.66 ст156

БР.ПМ-573.00.000 ПЗ

Дрк.

2 Конструкторська частина

2.1 Пристрій для механічної обробки

2.1.1 Опис призначення, конструкції і принципу роботи пристрою

Базування деталі здійснюється по попередньо обробленому отвору діаметром Ø184 мм, який встановлюється на зрізаний напрямний палець, що виконує функцію центрування. Після того як деталь займає необхідне положення, в пневмоциліндр подається стиснене повітря у штокову порожнину. Під дією тиску поршень разом зі штоком опускається вниз. На штоку розміщується фіксуючий паз, в який встановлена шайба, що виконує роль затискного елемента. Під час опускання штока шайба притискає деталь до опорної площини, забезпечуючи її надійну фіксацію в пристрої на період обробки.

Після завершення технологічної операції подача повітря до штокової порожнини припиняється, і стиснене повітря надходить у порожнину з протилежного боку. Це спричиняє підйом поршня зі штоком, унаслідок чого шайба відходить від деталі, і фіксація припиняється. Таким чином, відбувається розтиск деталі, після чого її можна безпечно зняти з установчого пристрою.

Такий принцип дії забезпечує надійне базування, швидке та повторюване закріплення деталі, знижує трудомісткість обслуговування пристрою та дозволяє автоматизувати процес установлення і зняття заготовки, що є особливо важливим у серійному або середньосерійному виробництві.

					БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

k_1 - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання через нерівності на оброблюваній поверхні; $k_1=1,2$;

k_2 - коефіцієнт, який характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення інструменту; $k_2=1,4$;

k_3 - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні; $k_3=1$;

k_4 - коефіцієнт, який характеризує постійність сили закріплення в механізмах затиску; $k_4=1$;

k_5 - коефіцієнт, який характеризує ергономіку ручних механізмів затиску; $k_5=1$;

k_6 - коефіцієнт, який враховує моменти, які повертають заготовку встановлену плоскою поверхнею на постійні опори; $k_6=1,5$;

$$k=1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5=2,73;$$

$$M_p = 874 \cdot \frac{0,28}{2} \cdot 2,73 = 334.04$$

$$\frac{M_p}{2} = M_m = \frac{334.04}{2} = 167.02$$

$$M_m = Q \cdot \frac{1}{3} \cdot f \frac{d_2^3 - d_1^3}{d_2^2 - d_1^2} \quad M_{m1} = Q \cdot \frac{1}{3} \cdot f \frac{d_{33}^3 - d_{03}^3}{d_{33}^2 - d_{03}^2}$$

де f_1 і f_2 - коефіцієнти тертя ковзання між поверхнею заготовки, установчих і затискних елементів пристрою; $f_1=f_2=0,15$.

$$Q_1 = \frac{M_{m1}}{f \cdot \frac{d_2^3 - d_1^3}{d_2^2 - d_1^2}} = \frac{167.02}{0,16 \cdot \frac{0,230^3 - 0,205^3}{0,230^2 - 0,205^2}} = 1417H$$

$$Q_2 = \frac{M_m}{f \frac{d_{33}^3 - d_{03}^3}{d_{33}^2 - d_{03}^2}} = \frac{167.02}{\frac{0,230^3 - 0,184^3}{0,230^2 \cdot 0,184^2} \cdot 0,15} = 1522H$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1417 + 1522 = 2939H$$

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір типу затискача, його конструктивних розмірів

Для затиску заготовки при свердлінні отворів використовуємо пневматичний затиск з пневмоциліндром і швидкозмінною шайбою.

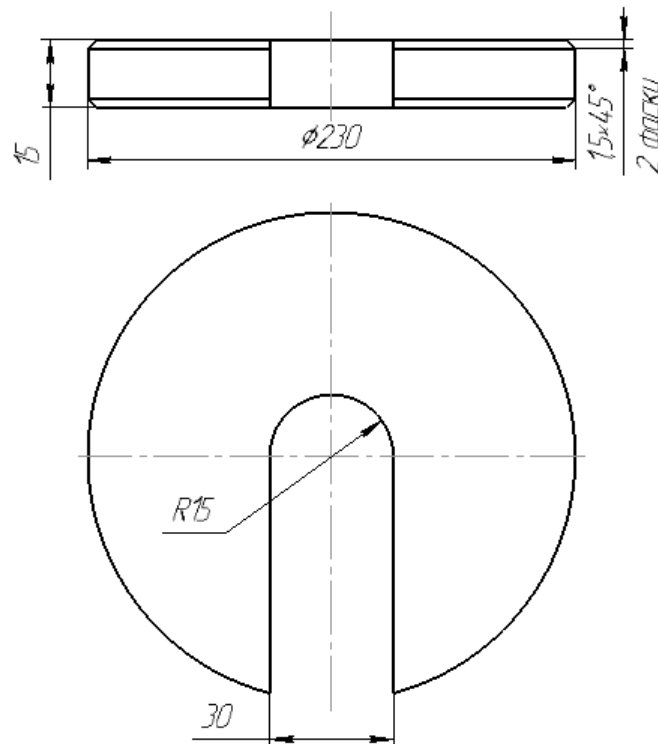


Рис. Конструктивні розміри шайби

Розрахунок початкової сили рушії та його конструктивно-розмірні параметри

В якості рушії приймаю пневмоциліндр, і виконуємо його конструкційний розмір за формулою:

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \eta$$

$$D_u = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2939}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,75}} = \sqrt{12479,8} = 112 \text{ мм}$$

де $\eta = 0,75$ – механічний коефіцієнт корисної дії; $\rho = 0,4-0,6$ тиск повітря.

Для забезпечення необхідної точності затиску вибираємо пневмоциліндр двосторонньої дії по ГОСТ 15608-70; приймаємо діаметр поршня $D=112$ мм.

Знаходимо діаметр штока : $d_u = 30 \text{ мм}$

Штовхаюча сила: $Q_u = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \eta$;

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{ш} = \frac{3,14}{4} \cdot 112^2 \cdot 0,4 \cdot 0,75 = 2355H ;$$

Тягова сила: $Q^1_{ш} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \rho \cdot \eta ;$

$$Q^1_{ш} = \frac{3,14}{4} \cdot (112^2 - 30^2) \cdot 0,4 \cdot 0,75 = 2208H ;$$

Розрахунок на міцність та зносостійкість найбільш навантажені та рухомі елементи пристрою.

Слабкою ланкою є шток оскільки він працює на стиск

Визначаємо допустиме напруження на штоку та порівнюємо з допустимим

$$\sigma = \frac{F}{Q} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 2207,81}{3,14 \cdot 30^2} = 4,49 Mpa < [\sigma] = 80 Mpa ;$$

Розрахунок опори на зносостійкість

Визначаємо спрацювання опорних елементів пристрою пристрою

Зміщення упорних елементів в наслідок спрацювання $\Delta_{сп} = N/C$

де $N_{річ}$ – число установок, C – зносостійкість.

$$N_{річ} = 15000$$

Зносостійкість визначаємо за критерієм Π_1 і Π_2

Критерій зносостійкості Π_1 для сталі 45. $\Pi_1 = 0,45$ [] с. 47, т 1.12

Визначаємо зусилля, що діє на опору $Q = 2208H$

Твердість опори $HV = 615 \dots 717$

Номінальна площа контакту опори $F_{табл} = 16,5 \text{ мм}^2$ [] с. 48, т 1.13

$$F = (0,1 \cdot Q)^{0,5} \cdot F_{табл} = (0,1 \cdot 2,208)^{0,5} \cdot 16,5 = 7,75 \text{ мм}^2$$

Критерій завантаженості опори

$$\Pi_2 = Q / HV \cdot F = 2208 / 630 \cdot 7,75 = 0,452$$

Визначаємо зносостійкість $C = 1440$ [] с. 45, рис 1,6

Величина спрацювання $\Delta_{сп} = 15000 / 1440 = 10,42 \text{ мкм}$

Порівнюємо з допустимим: $\Delta_{сп, доп} = 50 \text{ мкм}$. [] с. 51, т 1.15

$\Delta_{сп} = 10,42 \text{ мкм} < \Delta_{сп, доп} = 50 \text{ мкм}$. Зносостійкість забезпечується.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Контрольний пристрій

2.2.1 Призначення, будова та принцип роботи пристрою

Даний контрольний пристрій призначений для контролю перпендикулярності торця відносно осі деталі. Пристрій складається з плити на якій кріпиться стійка індикаторна з індикатором, а також корпус в якому є цанга за допомогою якої кріпиться деталь.

2.2.2 Визначення похибки вимірювання

Сумарна похибка вимірювання визначається за формулою:

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

ε_{δ} – похибка базування. Для нашого випадку при базуванні $\varepsilon_{\delta} = 0$

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 коромисла 10 та пальця 11, який становить 0,05 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 $\Delta_{ВИМ} = 1,2 \cdot \sqrt{0,05^2 + 0,005^2} = 0,06 \text{ мм.}$

Отримане значення співставимо з допуском $T_d = 0,5 \text{ мм.}$ на параметр точності, що перевіряється $\Delta_{ВИМ} \leq (0,1 - 0,25)T_d = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ мм.}$

Отже, можна зробити висновок, що точність контролю забезпечена.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Опис інструментів

2.2.1 Різальний інструмент

Розрахунок та конструювання різального інструменту

Розрахунок та конструювання спірального свердла Ø18

1. Вибираємо діаметр свердла 18 згідно ГОСТ 10903-77
2. Визначаємо режими різання. Режими різання визначені попередньо в технологічній частині.

Подача $S = 0,3$ мм/об; швидкість різання $V = 35.6$ м/хв; частота обертання $n=630$ хв⁻¹.

3. Визначаємо осьову силу різання згідно формули:

$$P_x = 9,81 C_p \cdot D^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot K_{M_p}$$

Згідно таблиці 32 с.281 [] знаходимо коефіцієнти

$$C_p = 31,5, \quad q_p = 1.0, \quad Y_p = 0.8, \quad X_p = 1$$

$$K_p = 0,7,$$

$$\text{Тоді } P_x = 9,81 \cdot 31,5 \cdot 18^1 \cdot 0,3^{0,8} \cdot 0,7 = 1486H$$

4. Момент сил опору різання (крутний момент)

$$M_{CP} = 9.81 C_M D^{Z_M} S^{Y_M} K_{M_M}$$

Згідно таблиці 32 с.281 [] знаходимо коефіцієнти для формули:

$$C_M = 0,012, \quad q_M = 2.0, \quad Y_M = 0.8,$$

$$K_M = 0,7,$$

$$\text{Тоді } M_{CP} = 9,81 \cdot 0,012 \cdot 18^2 \cdot 0,3^{0,8} \cdot 0,7 = 10,2Hm.$$

5. Визначаємо номер конуса хвостовика (рис 2,1).

Момент тертя між хвостовиком та втулкою рівний:

$$M_{TP} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0.4 \Delta \theta).$$

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прирівнюємо момент тертя до максимального моменту сил опору різанню, тобто до моменту який створюється при роботі затупленим свердлом, який збільшиться в 3 рази в порівнянні з розрахованим моментом.

$$3M_{CP} = M_{TP} = \frac{\mu P_x (D_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0.4 \Delta \theta)$$

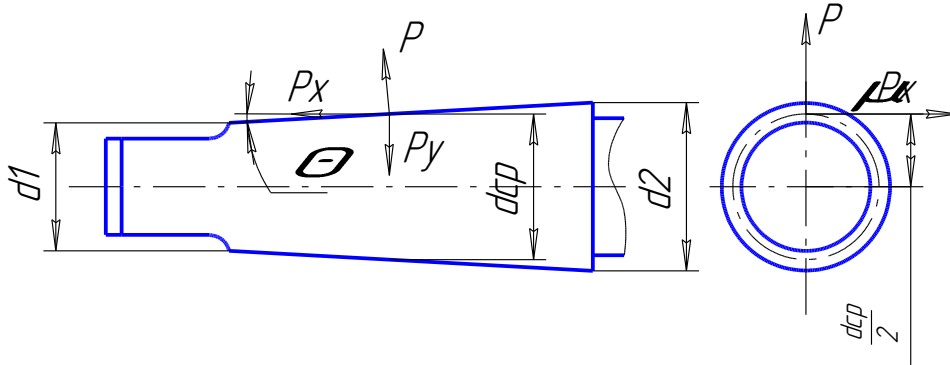


Рисунок 2.1 Схема сил, діючих на конічний хвостовик свердла.

Середній діаметр конуса хвостовика

$$d_{cp} = \frac{D_1 + d_2}{2} \quad \text{або} \quad d_{cp} = \frac{6M_{cp} \sin \theta}{\mu P_x (1 - 0.04 \Delta)}$$

де $M_{cp} - 10,2 \text{ Нм}$, $P_x - 1486 \text{ Н}$,

μ – коефіцієнт тертя сталі по сталі рівний 0,096,

$\theta = 1^{\circ}26'16''$ – половина кута конуса, $\Delta \theta = 5'$ – відхилення кута конуса.

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot 10,2 \cdot \sin 1^{\circ}26'16''}{0,096 \cdot 1486(1 - 0,2)} = 0,01778 = 17,78 \text{ мм}$$

По ГОСТ 2847-67 вибираємо ближчий більший конус, тобто конус Морзе №2 з лапкою з наступними основними конструктивними розмірами: $D_1=18,0 \text{ мм}$, $d_2=14,0 \text{ мм}$, $l_4 = 80,0 \text{ мм}$. Інші розміри вказані на кресленні.

6. Визначаємо довжину свердла. Загальна довжина свердла може бути прийнята по ГОСТ 10903-64 і проставляємо на кресленні.

7. Визначаємо геометричні і конструктивні параметри різальної частини свердла.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно нормативів знаходимо форму загострення нормальну, кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 30^{\circ}$.

Кут між ріжучими кромками $2\varphi = 118^{\circ}$. Задній кут $\alpha = 11^{\circ}$.

Кут нахилу поперечної кромки $\psi = 55^{\circ}$.

Знаходимо крок гвинтової канавки за формулою

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{3,14 \cdot 18}{\operatorname{tg} 30^{\circ}} = 97,45 \text{ мм}$$

8. Товщина серцевини свердла знаходимо в залежності від діаметра свердла $d_c = (0,14 \dots 0,25)D = 2,52 \dots 4,5 \text{ мм}$ і приймаємо 3,0 мм. Потовщення серцевини до хвостовика складає 1,4 – 1,8 мм, приймаємо потовщення 1,5 мм на 100 мм довжини.

9. Зворотна конусність свердла на 100 мм довжини робочої частини знаходиться в межах 0,05 – 0,12, ми приймаємо 0,08.

10. Вибираємо ширину стрічки f_0 і висоту затилування k по спинці і вибираємо [т 59 с. 124], в залежності від діаметра свердла $f_0 = 2 \text{ мм}$ $K = 0,9$.

11. Ширина пера $B = 0,58D = 0,58 \cdot 18 = 10,44 \text{ мм}$

12. Геометричні елементи профілю фрези для фрезерування канавки свердла визначають графічним або аналітичним способом. Скористаємось спрощеним аналітичним способом.

$$\text{Великий радіус профілю } R_0 = C_R C_r C_\phi D,$$

де

$$C_R = \frac{0,026 \cdot 2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega} = \frac{0,026 \cdot 118 \sqrt[3]{118}}{30} = 0,493$$

$$C_r = \left(\frac{0,14 \cdot D}{d_c} \right)^{0,044} = \left(\frac{0,14 \cdot 18}{3,0} \right)^{0,044} = 0,992$$

$$C_\phi = \left(\frac{13\sqrt{D}}{D_\phi} \right)^{0,9}.$$

при діаметрі фрези, рівному $D_\phi = 13\sqrt{D}$, величина $C_\phi = 1$.

А значить, $R_0 = 0,493 \cdot 0,992 \cdot 1 \cdot 18 = 8,8 \text{ мм}$

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Дослідження впливу величини припуску на розмірну точність деталі типу "Фланець" засобами чисельного моделювання

Актуальність теми

У сучасному машинобудуванні однією з ключових умов забезпечення якості продукції є дотримання розмірної точності оброблених поверхонь. При цьому важливу роль відіграє величина припуску — шару матеріалу, який знімається під час обробки. Невиправдано великі припуски призводять до підвищених витрат інструменту, зниження жорсткості системи обробки та збільшення похибок, тоді як надмірно малі — до неможливості видалення дефектного шару або до браку. Це особливо важливо для деталей типу "фланець", у яких внутрішні циліндричні поверхні повинні відповідати високим вимогам до точності та шорсткості.

З огляду на розвиток цифрових технологій, перспективним є застосування чисельного моделювання для аналізу впливу технологічних параметрів на точність обробки. Це дозволяє інженеру ще на етапі проєктування визначити раціональні значення припусків без виконання дорогих фізичних експериментів. Застосування мови програмування Python дає змогу швидко реалізовувати моделі з візуалізацією даних і гнучким налаштуванням вхідних параметрів.

Мета дослідження

Встановити залежність між величиною припуску та точністю обробки внутрішньої циліндричної поверхні деталі типу "фланець" шляхом чисельного моделювання засобами Python.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати технологічні умови точіння внутрішніх поверхонь фланців.
2. Побудувати модель залежності похибки обробки від припуску.
3. Реалізувати чисельне моделювання в середовищі Python.
4. Оцінити похибки розмірів при різних значеннях припуску.
5. Побудувати графіки та сформулювати висновки.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Надати рекомендації щодо вибору раціональних припусків.

Об'єкт дослідження

Процес механічної обробки внутрішніх поверхонь отворів деталей типу "фланець".

Предмет дослідження

Вплив величини припуску на точність обробки внутрішньої поверхні.

Методи дослідження

- Імітаційне моделювання;
- Статистичний аналіз похибок;
- Побудова графіків і візуалізація результатів;
- Аналіз результатів чисельного експерименту.

У даній дипломній роботі виконано дослідження впливу величини припуску на точність обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей типу «фланець». Об'єктом дослідження є процес точіння отвору, який є функціональною частиною фланця та визначає його посадкові або центрувальні властивості.

Для досягнення поставленої мети було розроблено чисельну модель, яка імітує процес обробки шляхом генерації випадкових відхилень розміру за нормальним розподілом. Модель враховує зростання нестабільності розмірної точності зі збільшенням припуску. Моделювання реалізовано в середовищі Python із використанням бібліотек numpy, pandas і matplotlib.

Було досліджено десять значень припуску в діапазоні від 0,2 до 5,5 мм. Для кожного значення виконано 30 імітацій, що дозволило отримати статистичну вибірку похибок. На основі отриманих даних побудовано таблиці середнього відхилення, стандартного відхилення, а також графіки залежностей. Результати показали, що збільшення припуску призводить до пропорційного зростання нестабільності обробки, що може ускладнювати дотримання полів допуску типу Н8–Н9.

За результатами дослідження сформульовано рекомендації щодо раціонального вибору припуску для внутрішньої обробки отворів фланців, що

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє оптимізувати процес виготовлення деталей за критеріями точності та економічності.

Таблиця 1 – Вхідні дані

№	Найменування параметра	Позначення	Значення	Опис / Примітка
1	2	3	4	5
1	Діаметр оброблюваної поверхні	D	184 мм	Внутрішній отвір у фланці
2	Довжина поверхні, що обробляється	L	25 мм	Орієнтовна глибина отвору
3	Матеріал заготовки	–	Сталь 40X (ГОСТ 4543–71)	Загальнозживаний конструкційний матеріал
4	Метод отримання заготовки	–	Штамповка	Для імітації залишкових нерівностей
5	Діапазон припусків для моделювання	a	0,2; 0,5; 1,0; 1,2; 1,8; 2,5; 3,2; 3,5; 4,0; 5,5 мм	Вибрано типові значення для практики
6	Кількість імітацій для кожного припуску	n	30	Для статистичної вибірки
7	Тип розподілу похибок	–	Нормальний (Гаусів)	Без систематичного зміщення
8	Середнє значення похибки	μ	0	Ідеальне налаштування верстата
9	Формула для стандартного відхилення	σ	$\sigma = 0.01 + 0.004 \cdot a$	Емпірична залежність для моделі
10	Модель похибки	ΔD	<code>np.random.normal(μ, σ, n)</code>	Python-функція генерації похибок
11	Кількість режимів моделювання	–	10	Відповідає кількості значень припуску
12	Середовище програмування	–	Python 3.10	Відкрита мова програмування
13	Використані бібліотеки	–	<code>numpy, pandas, matplotlib</code>	Для статистики та візуалізації
14	Вивідні характеристики моделі	–	середнє, σ , min, max	Параметри оцінки точності обробки
15	Кількість всіх симульованих точок	–	$10 \times 30 = 300$	Повний масив даних моделі

У ході дослідження, базуючись на зазначених вхідних параметрах, було реалізовано модель чисельного моделювання, яка дозволяє імітувати вплив

величини припуску на розмірну точність обробленої внутрішньої циліндричної поверхні. Основою моделі є припущення, що основним джерелом похибок є нестабільність процесу зняття припуску в умовах звичайного точіння. Для моделювання було обрано нормальний розподіл похибок із нульовим середнім значенням, що відображає умови правильно налаштованого верстата, і змінним стандартним відхиленням, яке залежить від величини припуску. Такий підхід дає можливість відобразити практичну закономірність: із зростанням припуску збільшується навантаження на інструмент і систему, що призводить до зростання розсіювання розмірів обробленої поверхні.

У програмному середовищі Python було реалізовано генерацію похибок для кожного з десяти припусків: від 0.2 мм до 5.5 мм. Для кожного значення припуску створено по 30 симульованих значень розмірної похибки, що утворює репрезентативну вибірку. Стандартне відхилення для кожної вибірки розраховувалося за аналітичною формулою $\sigma = 0.01 + 0.004 \cdot a$, де a — значення припуску. Зібрані дані оброблялися засобами бібліотеки pandas з групуванням за значеннями припусків і подальшим розрахунком статистичних характеристик: середнього значення, стандартного відхилення, мінімального та максимального відхилення в кожній вибірці.

Після обчислення результатів були побудовані візуалізації у вигляді гістограм розподілу похибок, а також графіки зміни середнього та стандартного відхилення залежно від припуску. Це дозволило чітко побачити тенденцію до зростання нестабільності обробки при збільшенні обсягу знімання металу. Найбільш стабільні результати були зафіксовані при припусках 0.5–1.2 мм, тоді як припуски понад 3 мм суттєво підвищують варіацію похибок, подекуди до значень понад ± 0.08 мм.

Таким чином, реалізована модель дозволила встановити кількісну залежність між припуском і точністю обробки без проведення фізичного експерименту. Це підтверджує доцільність використання подібного підходу для обґрунтування технологічних рішень у процесі розробки маршрутів обробки та вибору припусків при проектуванні техпроцесу.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фрагмент коду:

```
-----
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from typing import List, Tuple

class MachiningSimulation:
    def __init__(self, allowances: List[float], samples_per_group: int = 30):
        self.allowances = allowances
        self.samples_per_group = samples_per_group
        self.raw_data = pd.DataFrame()
        self.summary = pd.DataFrame()

    def standard_deviation_function(self, allowance: float) -> float:
        """Аналітична формула для визначення стандартного відхилення похибки"""
        return 0.01 + 0.004 * allowance

    def generate_simulated_data(self):
        """Генерує похибки обробки для кожного припуску"""
        np.random.seed(42)
        records = []
        for a in self.allowances:
            sigma = self.standard_deviation_function(a)
            deviations = np.random.normal(loc=0, scale=sigma, size=self.samples_per_group)
            for value in deviations:
                records.append({"Allowance (mm)": a, "Deviation (mm)": value})
        self.raw_data = pd.DataFrame(records)

    def analyze(self):
        """Обчислює статистику похибок"""
        if self.raw_data.empty:
            raise ValueError("Дані не згенеровані. Спочатку викличте generate_simulated_data().")

        self.summary = self.raw_data.groupby("Allowance (mm)").agg(
            Mean_Deviation=("Deviation (mm)", "mean"),
            Std_Deviation=("Deviation (mm)", "std"),
            Min_Deviation=("Deviation (mm)", "min"),
            Max_Deviation=("Deviation (mm)", "max")
        ).reset_index()

    def plot_results(self):
        """Побудова графіків за результатами аналізу"""
        if self.summary.empty:
            raise ValueError("Немає статистики для побудови графіків.")

        plt.figure(figsize=(10, 6))
        plt.plot(self.summary["Allowance (mm)", self.summary["Std_Deviation"],
            marker='o', linestyle='-', linewidth=2, label="σ (Standard Deviation)")
        plt.xlabel("Allowance (мм)")
        plt.ylabel("Стандартне відхилення (мм)")
        plt.title("Залежність нестабільності обробки від припуску")
        plt.grid(True)
        plt.legend()
        plt.tight_layout()
        plt.savefig("std_deviation_plot.png", dpi=300)
        plt.show()

        plt.figure(figsize=(10, 6))
        plt.bar(self.summary["Allowance (mm)", self.summary["Mean_Deviation"], width=0.3)
        plt.xlabel("Allowance (мм)")
        plt.ylabel("Середнє відхилення (мм)"))
```

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

plt.title("Середнє відхилення розміру при різних припусках")
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.savefig("mean_deviation_plot.png", dpi=300)
plt.show()

def export_results(self, filename: str = "summary_results.csv"):
    """Зберігає таблицю результатів у файл"""
    self.summary.to_csv(filename, index=False)

```

===== Використання класу =====

```

if __name__ == "__main__":
    # Список припусків для аналізу
    input_allowances = [0.2, 0.5, 1.0, 1.2, 1.8, 2.5, 3.2, 3.5, 4.0, 5.5]

    # Ініціалізація моделі
    sim = MachiningSimulation(allowances=input_allowances)

    # Виконання моделювання
    sim.generate_simulated_data()
    sim.analyze()
    sim.plot_results()
    sim.export_results("detailed_machining_study.csv")

```

Таблиця результатів чисельного дослідження

Припуск (мм)	Середнє відхилення (мм)	Стандартне відхилення (мм)	Мінімум (мм)	Максимум (мм)
1	2	3	4	5
0.20	-0.0020	0.0097	-0.0207	0.0171
0.50	-0.0015	0.0112	-0.0235	0.0222
1.00	0.0002	0.0139	-0.0367	0.0219
1.20	-0.0003	0.0135	-0.0284	0.0365
1.80	-0.0016	0.0176	-0.0276	0.0377
2.50	0.0056	0.0189	-0.0238	0.0544
3.20	0.0015	0.0240	-0.0345	0.0878
3.50	0.0012	0.0249	-0.0486	0.0556
4.00	-0.0037	0.0301	-0.0843	0.0552
5.50	0.0034	0.0294	-0.0625	0.0683

У таблиці наведено результати моделювання впливу величини припуску на точність обробки внутрішньої поверхні деталі типу «Фланець». Для кожного

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з 10 значень припуску показано середні значення похибки, стандартне відхилення, а також мінімальне та максимальне значення згенерованих розмірних відхилень.

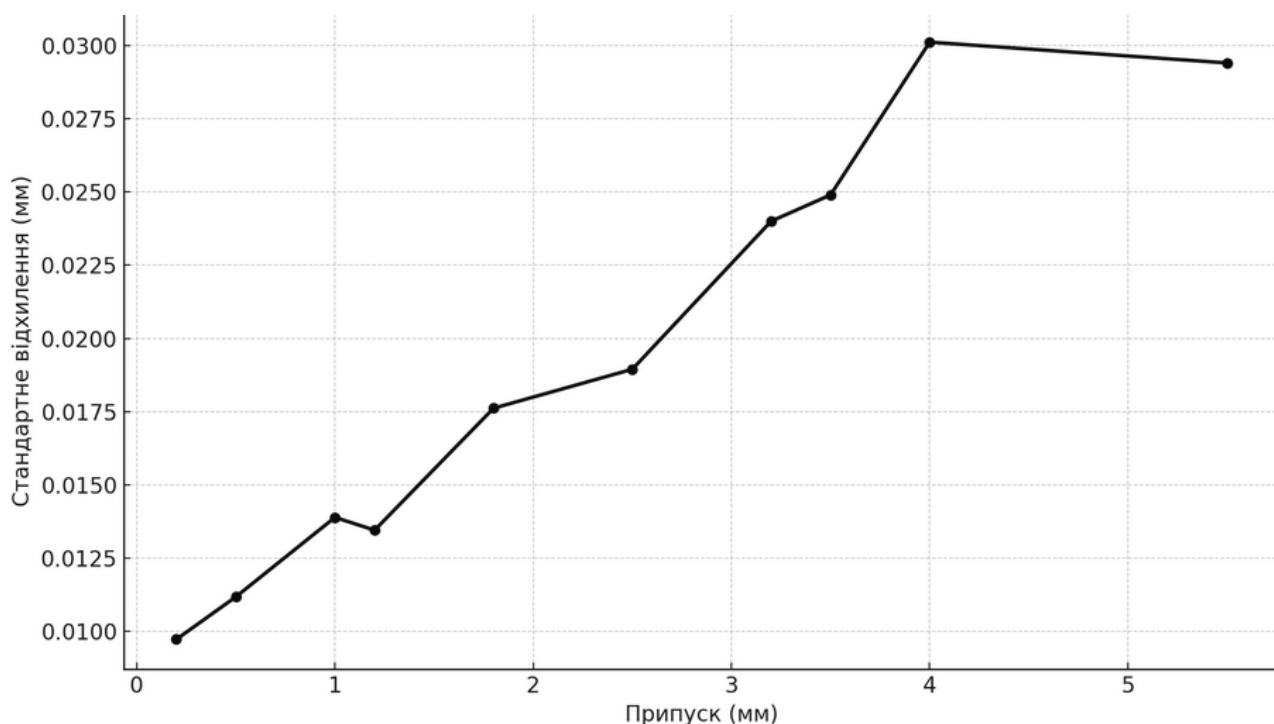


Рис. - Залежність стандартного відхилення похибки від припуску

Висновок. У процесі виконання чисельного моделювання встановлено кількісну залежність між величиною припуску на механічну обробку та розмірною точністю внутрішніх циліндричних поверхонь деталей типу "фланець". Результати дослідження підтвердили, що припуск є критичним параметром, який безпосередньо впливає на стабільність та якість отриманої поверхні після точіння.

Застосований метод статистичного моделювання в середовищі Python із використанням нормального розподілу похибок дозволив отримати репрезентативні вибірки результатів, що дають змогу зробити обґрунтовані техніко-технологічні висновки без проведення фізичного експерименту. Було досліджено 10 значень припуску в межах від 0.2 до 5.5 мм. Для кожного значення змодельовано 30 реалізацій відхилення розміру, на основі яких

обчислено середнє значення похибки, стандартне відхилення, мінімальні та максимальні значення.

Аналіз результатів показав, що при збільшенні припуску спостерігається стійка тенденція до зростання розсіювання похибок. Якщо при припусках 0.2–0.5 мм стандартне відхилення становило приблизно 0.01 мм, то при припусках понад 3.0 мм воно перевищувало 0.025–0.035 мм, що в умовах високоточної обробки може бути критичним. Це підтверджується як числовими розрахунками, так і графічними побудовами. Отримані результати дозволяють оцінити ймовірність виходу оброблених розмірів за поля допусків, зокрема за Н8 та Н9.

Таким чином, встановлено, що найбільш раціональними припусками для забезпечення балансу між точністю та надійністю обробки є діапазон 1.0–1.5 мм. Припуски менші за 0.5 мм не гарантують видалення дефектного шару після штамповки, а припуски понад 2.5 мм вимагають додаткових заходів: жорсткого кріплення, багатопрохідної обробки або застосування високоточного обладнання.

Отримана модель є універсальною, може бути адаптована до інших типів обробки (наприклад, фрезерування, розточування) та інтегрована в САМ-системи для попередньої оцінки технологічної точності. Це значно підвищує ефективність планування виробництва й дозволяє приймати технічно обґрунтовані рішення на етапі розробки технологічного процесу.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік використаних джерел

1. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу “Технологічні основи машинобудування” для студентів напрямку підготовки 0902 – Інженерна механіка спеціальності обладнання нафтових і газових промислів. м. Івано-Франківськ 2001р. 24с.
2. П.І. Войтенко. Конспект лекцій з курсу « Технологія обробки типових деталей і складання машин» для студентів спеціальності 7.090202- технологія машинобудування. ІФДТУНГ, м. Івано-Франківськ 2000р.
3. Петрина Ю.Д., Гаврилів Ю.Л., Пітулей Л.Д., Павленко Т.В. Технологічні методи виробництва заготовок: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної .-Івано-Франківськ: Факел, 2003.-50с.
4. Руденко П.О. і ін. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Наука і освіта, Дніпропетровськ: 1999р, -254с.
5. Р. И. Гжиров. Краткий справочник конструктора. – Ленинград: Машиностроение, 1984г.
6. Технология машиностроения. Под общ. ред. М. Е. Егорова, второе изд. дополн., М: Высшая школа; 1976г. 534 с.
7. Горбацевич Л.Ф. Шкред В.Л. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Высшая школа; 1983 г., 256 с.
8. Обработка металлов резанием: Справочник технолога /под. ред. А.А. Панова. М.:Машиностроение; 1985г., 656 с.
9. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах т.1 / под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.:Машиностроение , т 1972г., 694с.
- 10.В.Е. Антонов. В помощь молодому конструктору. Минск; 1978 г. 315с.
- 11.Проектирования и реконструкции механических цехов и участков машиностроительных и ремонтных производств. ; Учеб. Пособие для вузов/ В. Е. Канарчук, В.М. Токаренко, А.И. Балабанов. – К. Выща шк. 1988.-223с.
- 12.Барановський Ю.В. Режимы резания металлов. Справочник. М. Машиностроение, 1972.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Верещагін В. А. Статистичні методи у технології машинобудування. – К.: Політехніка, 2012. – 224 с.
14. Python Software Foundation. Python Language Reference, version 3.10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.python.org/>
15. Hunter J. D. Matplotlib: A 2D Graphics Environment // Computing in Science & Engineering. – 2007. – Vol. 9(3). – P. 90–95.
16. Harris C. R. et al. Array programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362.
17. McKinney W. Data Structures for Statistical Computing in Python // Proceedings of the 9th Python in Science Conference. – 2010. – P. 51–56.

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					БР.ПІМ-573.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

				І Ф Н Т У Н Г										
										Фланець				

Кафедра КМВ

**КОМПЛЕКТ
технологічної документації**

*Технологічний процес
механічної обробки*

Фланець ФС-01.320190.40

Розробив _____

Перевірив _____

Акт № ____ від “ ____ ” _____ 2025 р.

--	--

Дубл.			
Взам.			
Оригінал			

--	--	--	--	--	--

Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

284000.01101.00001

Розроб.			
Перевір.			
Затверд.			
Н.Контр.			

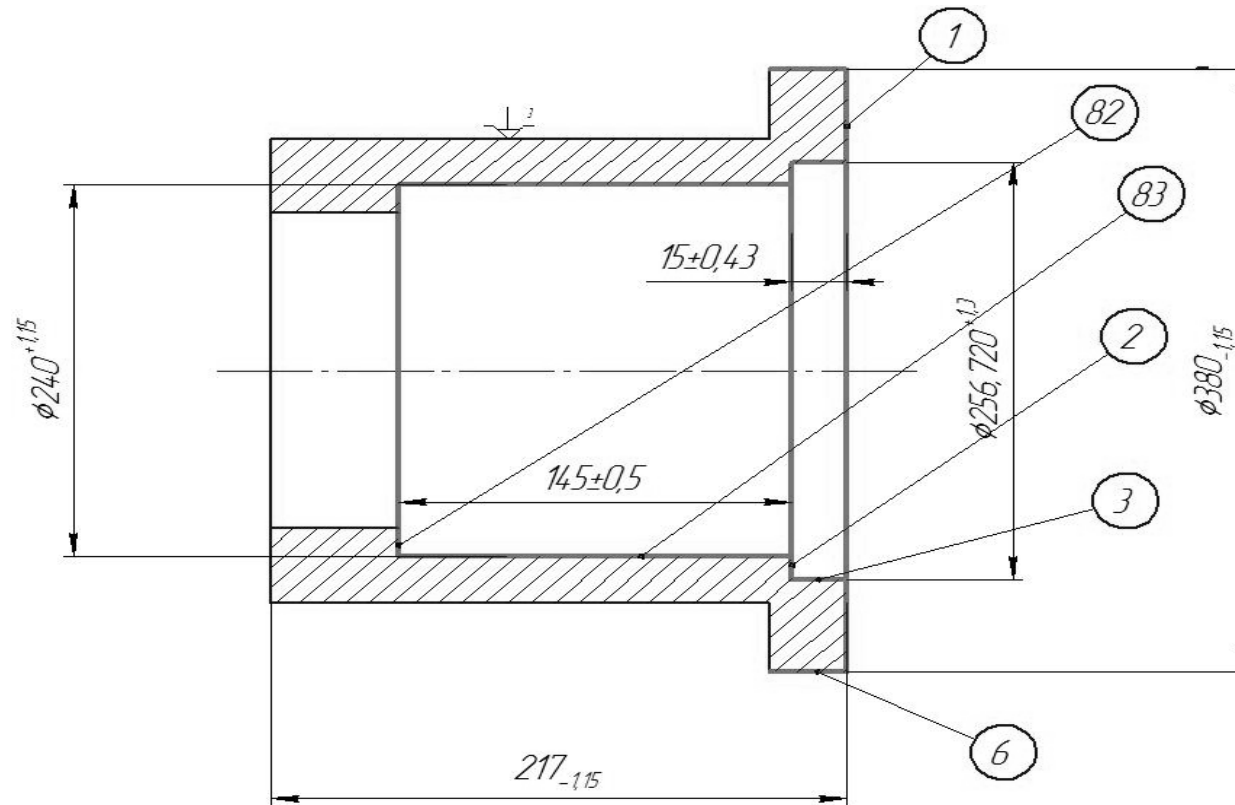
ІФНТУНГ

Фланець

КП

015

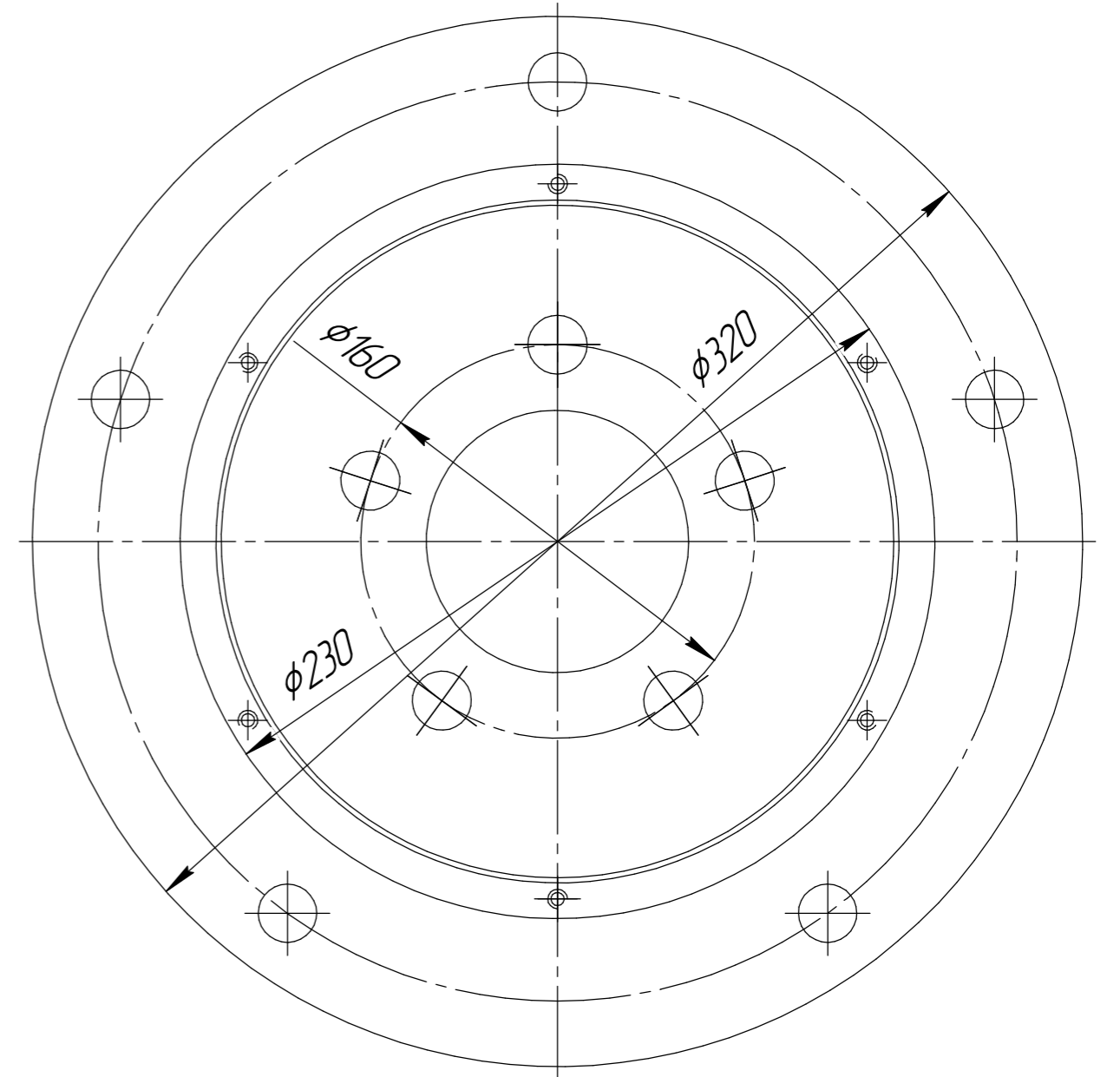
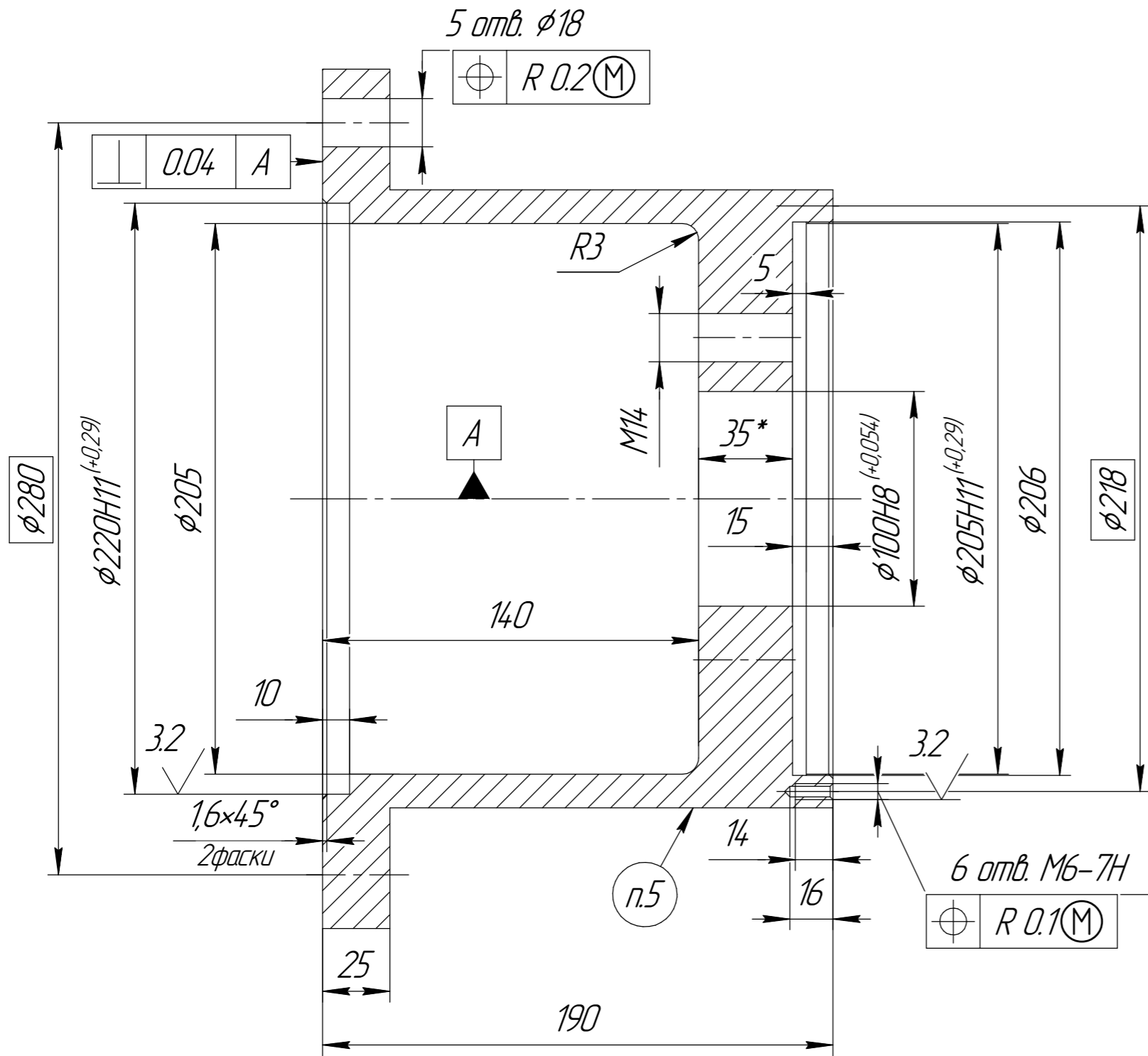
√6,3



*Розміри для довідок

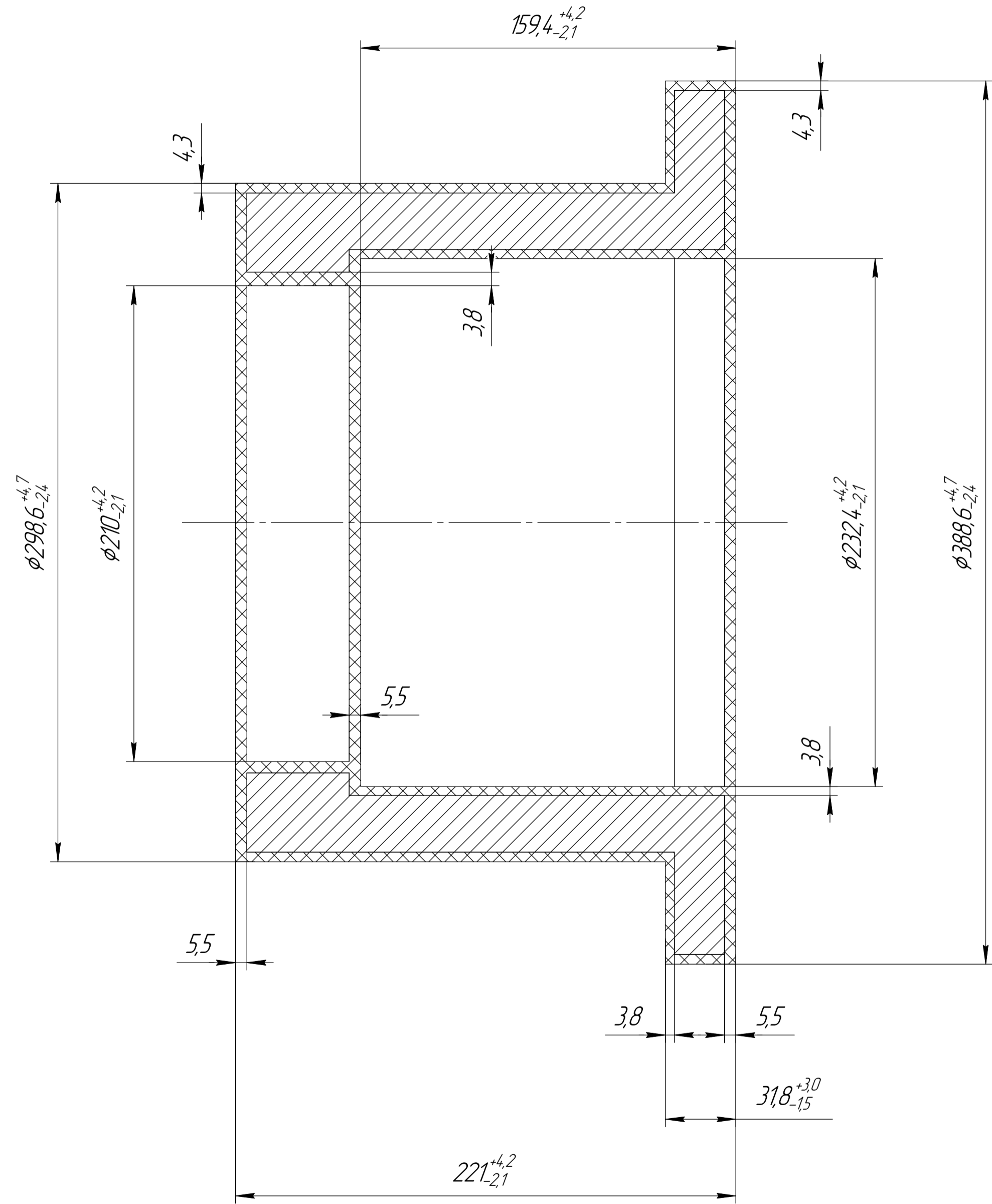
KE

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.		Справ. №	
				Документація						
A4			БР.ПМ-573.00.000 ПЗ	Розрахунково пояснювальна записка	1					
A4			БР.ПМ-573.00.000	Комплект технологічної документації	1					
A1			БР.ПМ-573.00.000	Складальне креслення	1					
				Складальні одиниці						
				Деталі						
					1					
		1	БР.ПМ-573.00.000	Плита	1					
		2	БР.ПМ-573.00.000	Корпус	1					
		3	БР.ПМ-573.00.000	Шток	1					
		4	БР.ПМ-573.00.000	Втулка	1					
		5	БР.ПМ-573.00.000	Ручка	1					
		6	БР.ПМ-573.00.000	Шайба	1					
		7	БР.ПМ-573.00.000	Поршень	1					
		8	БР.ПМ-573.00.000	Упор	1					
		9	БР.ПМ-573.00.000	Стакан	1					
		10	БР.ПМ-573.00.000	Кришка	1					
		11	БР.ПМ-573.00.000	Стакан	1					
				Стандартні вироби						
		12		Ніпель С8х32 ГОСТ 7892-82	1					
БР.ПМ-573.00.000										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристрій для свердління отворів			Лист	Лист	Листов
Разраб.		Баган І. А.							1	2
Пров.		Щуляр Б. Р.								
Реценз.										
Н.контр.		Щуляр Б. Р.								
Утв.		Панчук В. Г.			ІФНТУНГ					



1. НВ 240...280
2. *Розмір для довідок
3. Н14; н14; $\pm \frac{T2}{2}$
4. Покрытие Хім. Окс. прм.
5. Маркувати: ФС-01.320190.40

					БР.ПМ-573.00.000			
					Фланець ФС-01.320190.40 (спеціальний)			
					Лит.		Маса	Масштаб
					20,5		1:1	
					Аркуш		Аркушів	1
					Сталь 40Х ДСТУ 4543-71			
					ІФНТУНГ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Баган І. А.							
Перев.	Шуляр Б. Р.							
Т.контр.	Шуляр Б. Р.							
Реценз.								
Н.контр.	Шуляр Б. Р.							
Затв.	Панчук В. Г.							



- 1.НВ 241...245
- 2.Вихідний індекс 19
- 3.Степінь складності штамповки С2
- 3.Група сталі М2
- 4.точність виготовлення штамповки Т5
- 4.Неуказаний радіус закругленості R=7
- 6.Штамповочні уклони 7

				БР.ПМ-573.00.000				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Штамповка	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.		Баган І. А.				-	1:2	
Перев.		Шуляр Б. Р.			Аркуш	Аркушів	1	
Т.контр.		Шуляр Б. Р.			Сталь 40Х ГОСТ 4543-71		ІФНТУНГ	
Н.контр.		Шуляр Б. Р.						
Затв.		Панчук В. Г.						

Карта наладки в конструктивному виконанні для обробки на верстаті з ЧПК Knuth KSB 40

Деталь підчас обробки

Деталь до обробки

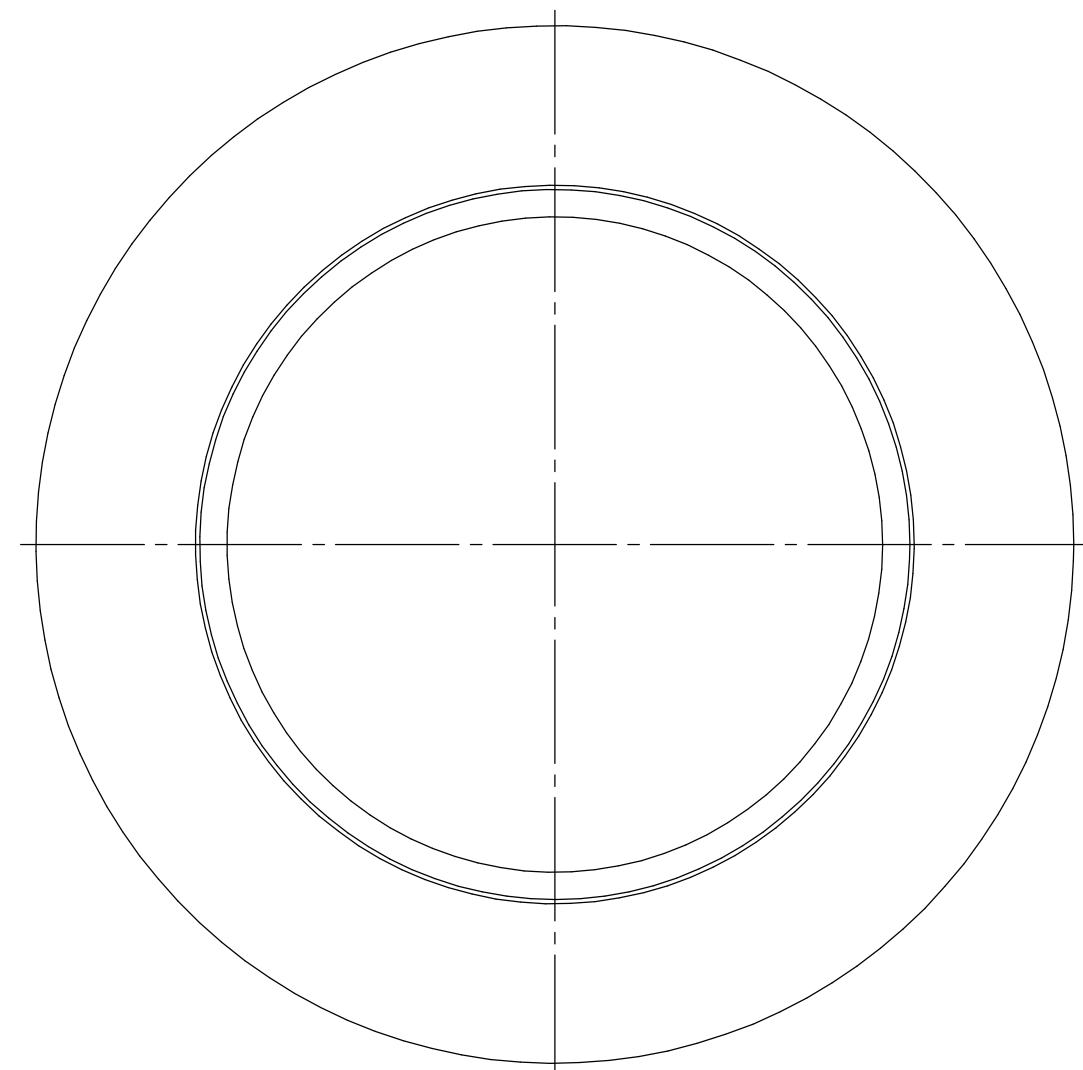
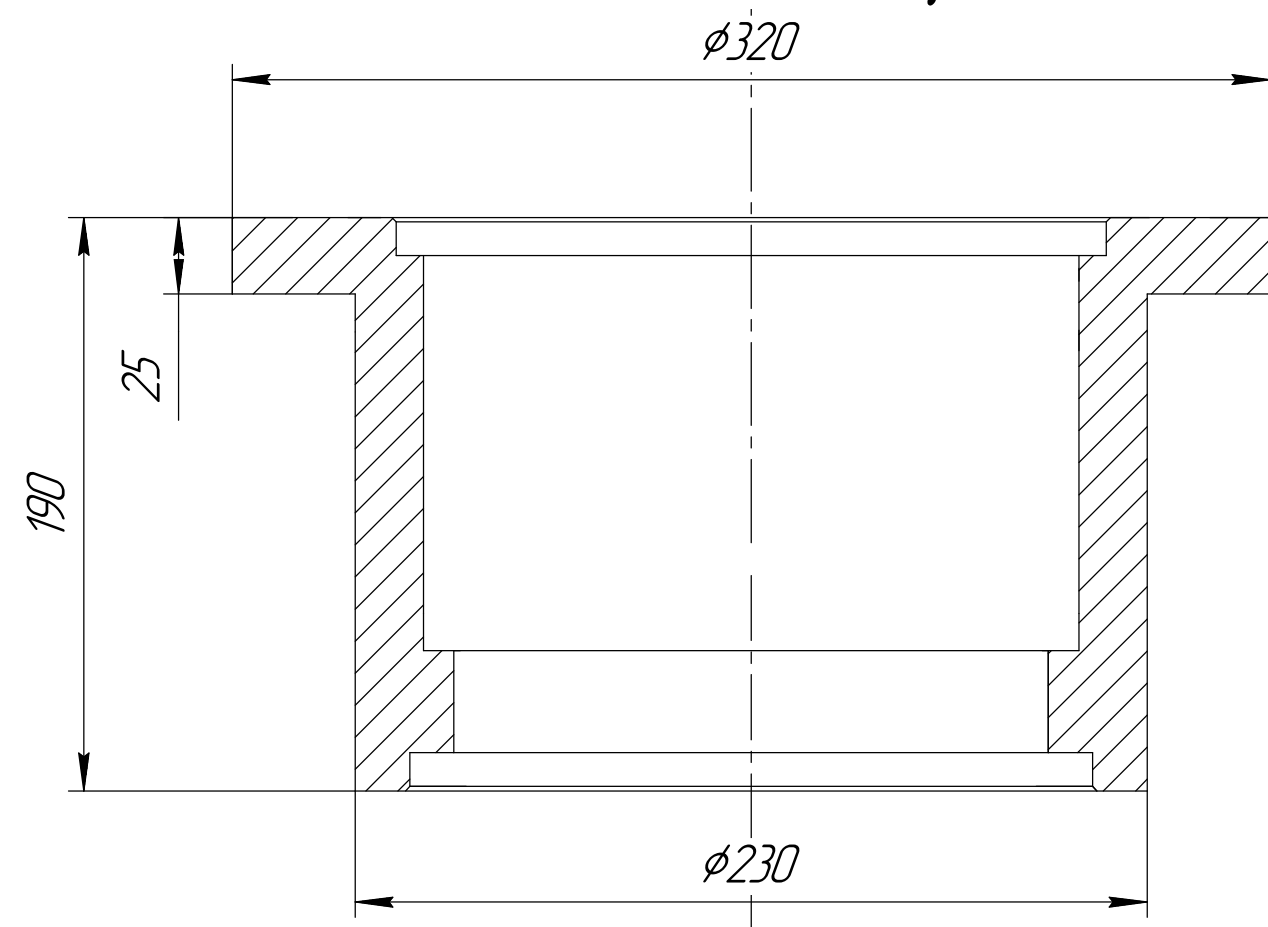
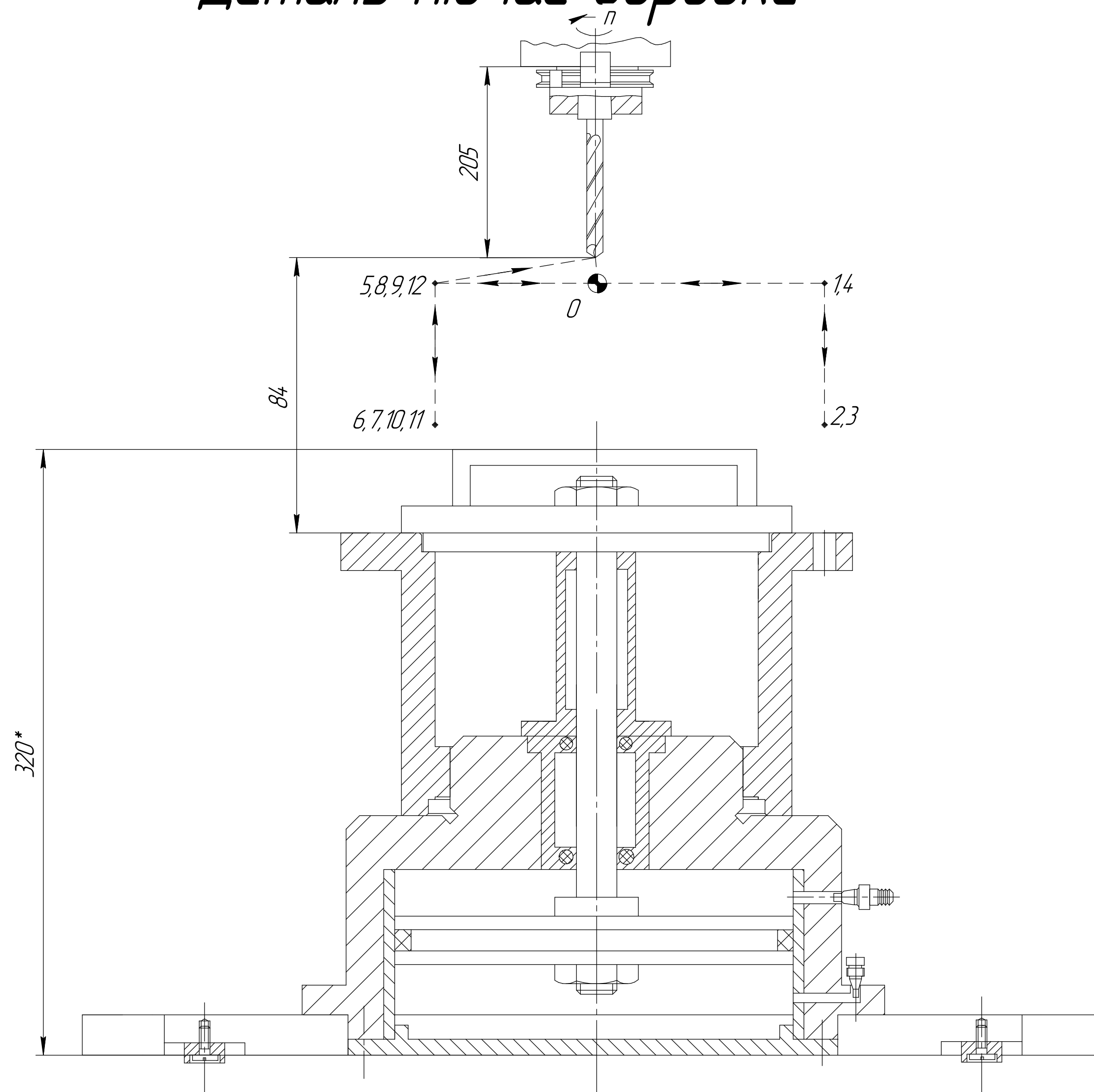
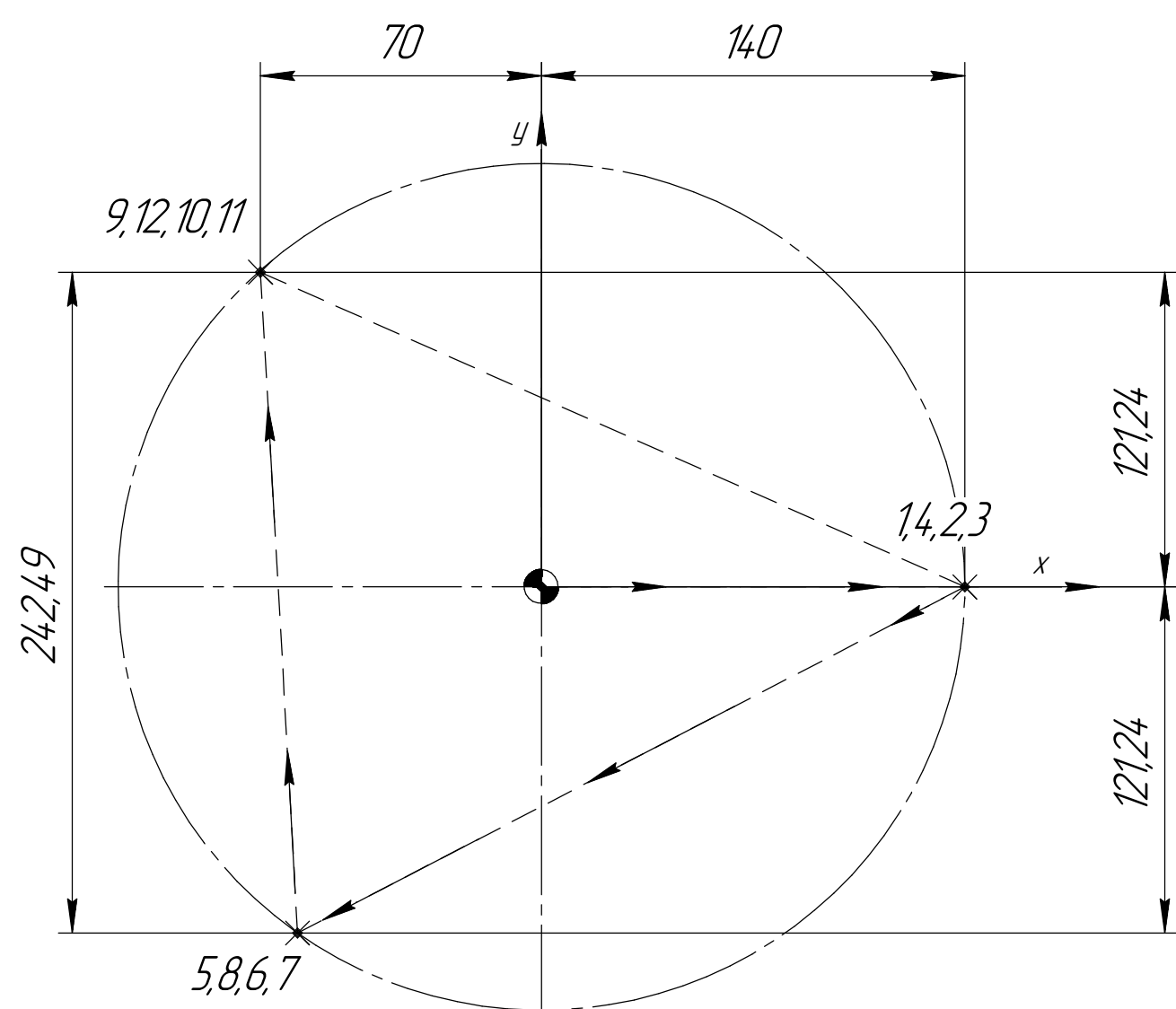
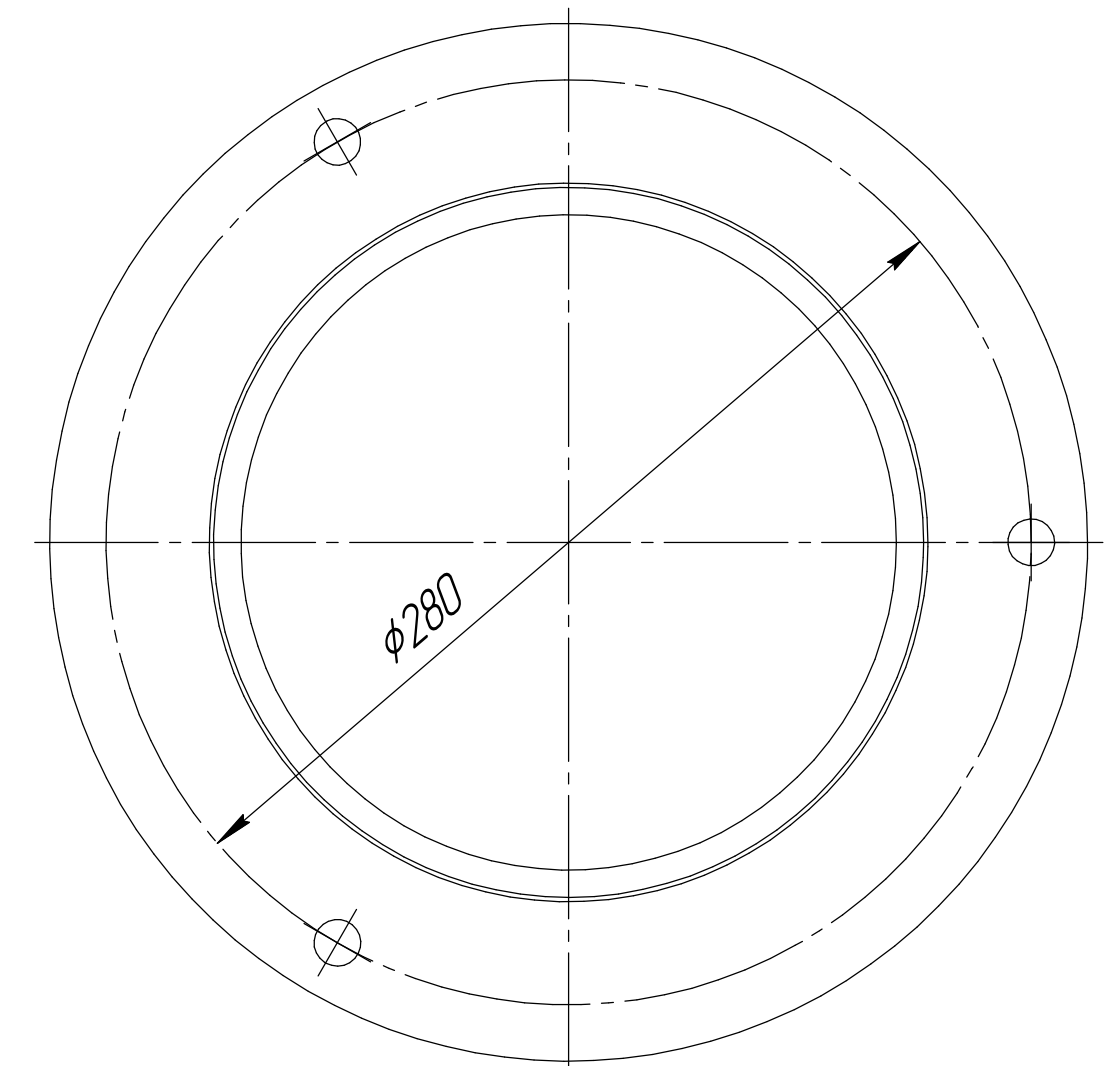
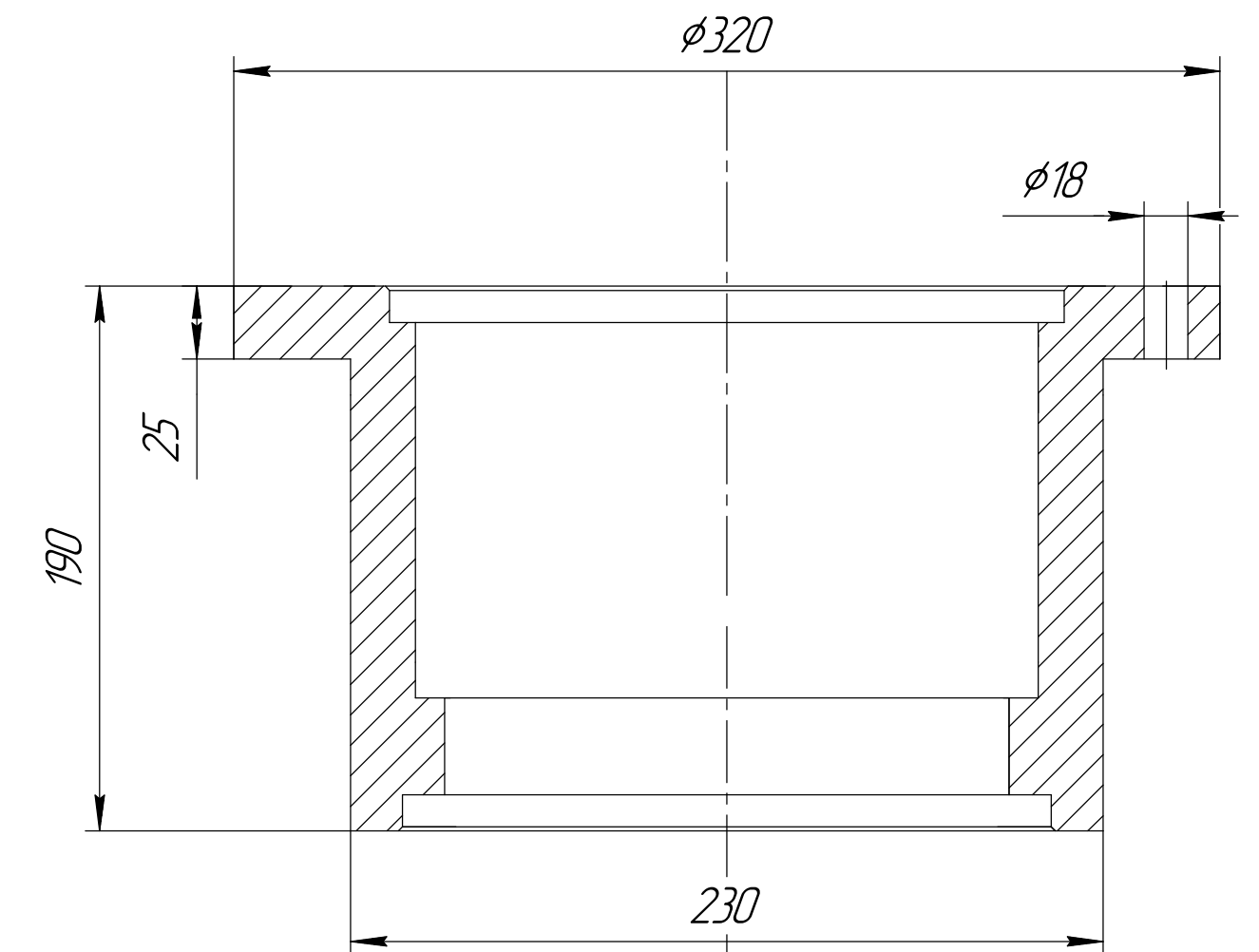


Схема розташування опорних точок



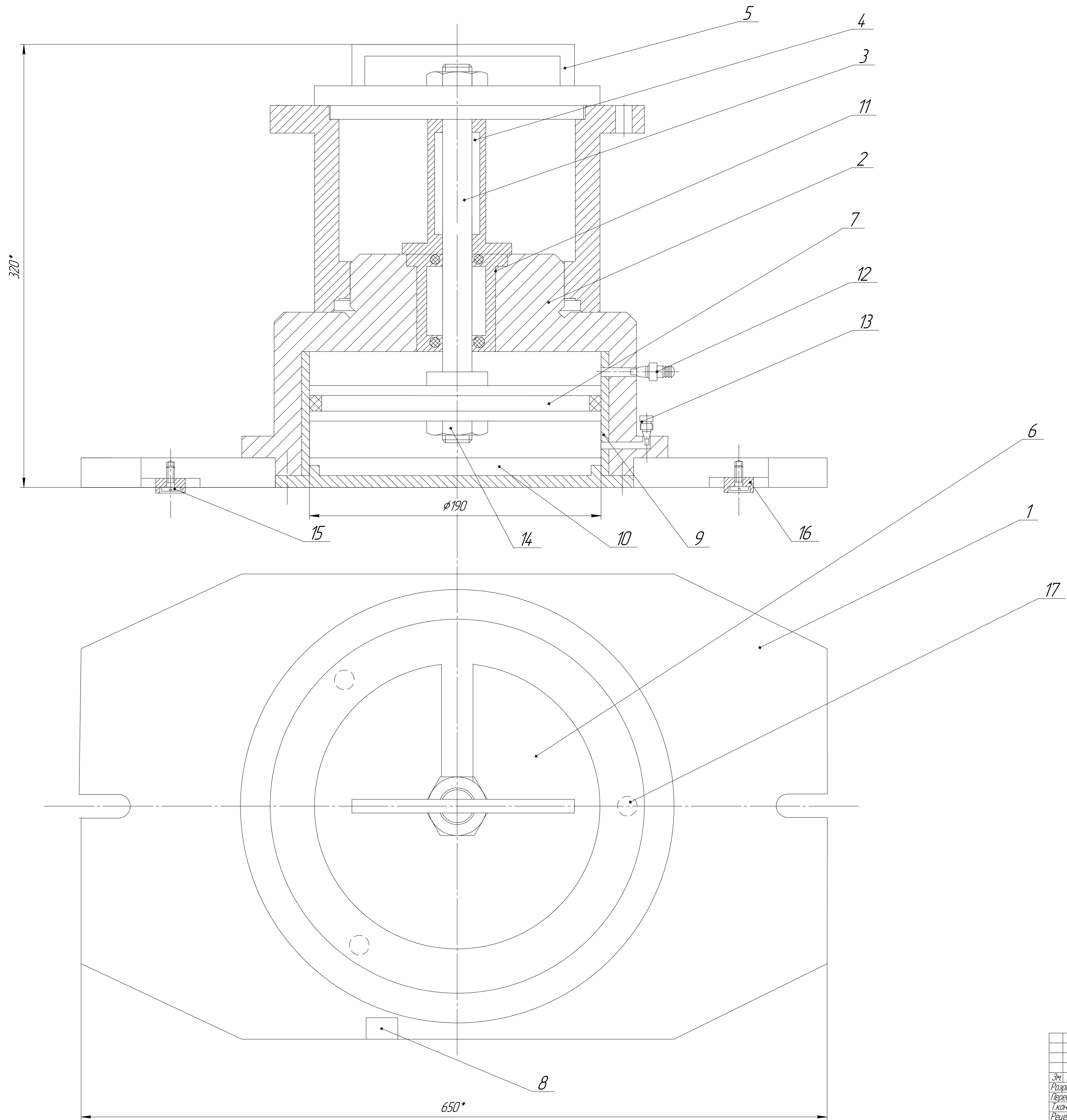
Деталь після обробки



Координати опорних точок

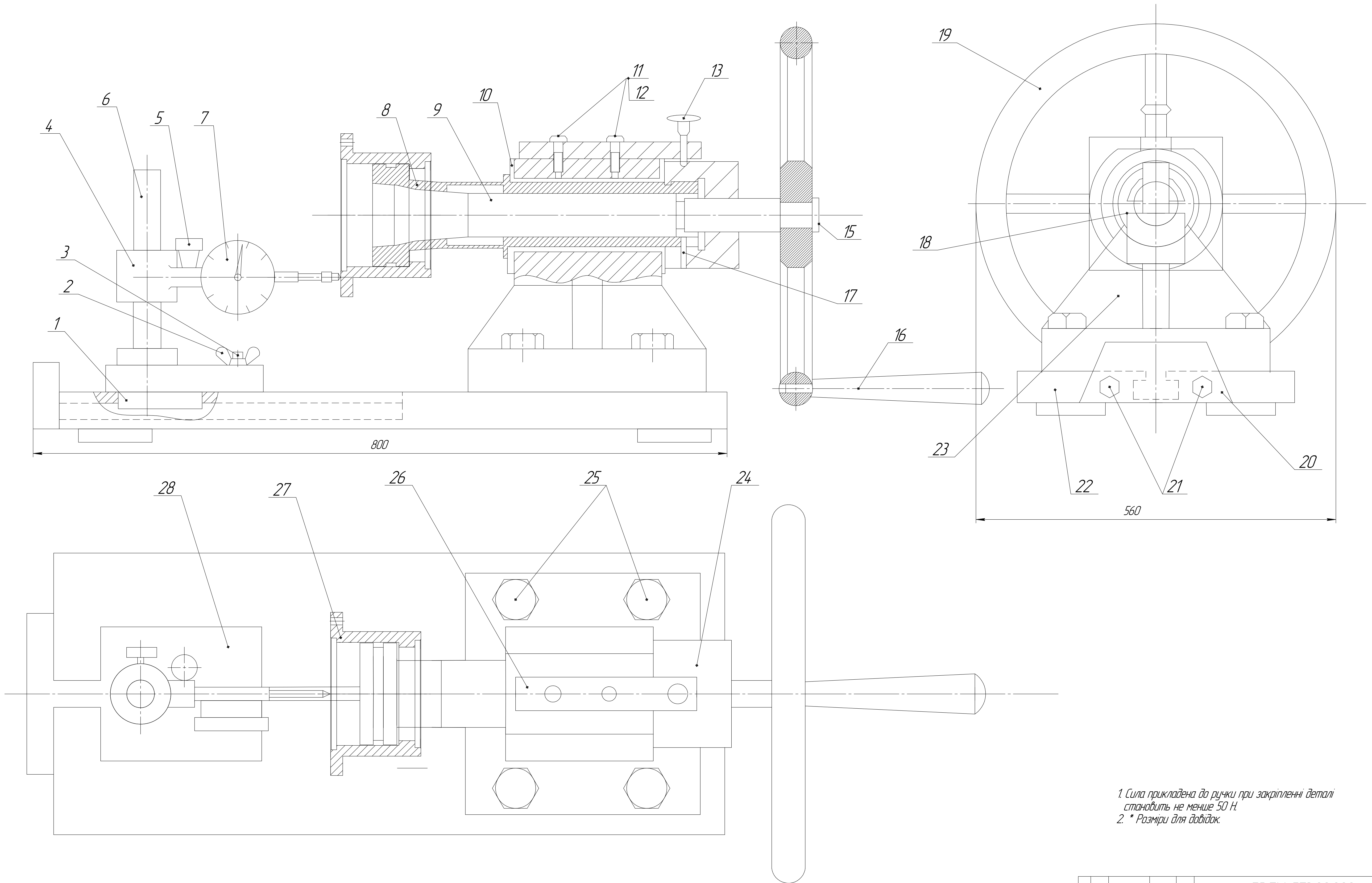
№	X	Y	Z
1	140	0	50
2	140	0	75
3	140	0	75
4	140	0	-50
5	-70	-121,24	50
6	-70	-121,24	75
7	-70	-121,24	75
8	-70	-121,24	-50
9	-70	121,24	50
10	-70	121,24	75
11	-70	121,24	75
12	-70	121,24	-50

Свердлильна з ЧПК		Свердлильний з ЧПК Knuth KSB 40		396110 Пристрій спеціальний		393311 Штангенциркуль щц-1-125 0,05 ГОСТ 166-73		181 198		БР.ПМ-573.00.000			
Найменування і короткий зміст	Обладнання (тип і модель)	Пристрій або допоміжний інструмент	Вимірний інструмент	Ріжучий інструмент	f (мм)	S (мм/об)	V (м/хв)	n (хв ⁻¹)	T ₀ (хв)	T _q (хв)	Лист	Маса	Масштаб
					9	0,4	27	355			Карта наладки	-	1:1
					№ п/п на карті	Найменування і короткий зміст					Аркш	Аркшів	1
					1	Свердло 230-0057 ГОСТ 10902-77					ІФНТУНГ		
						Розроб. Богдан І. А.							
						Лектор Шугар Б. Р.							
						Інженер Шугар Б. Р.							
						Рецензент Шугар Б. Р.							
						Інженер Затицький В. Г.							



1 Пристрій призначений для свердильного верстата
2 *Розміри для довідок

				БР.ПМ-573.00.000			
Зм.	Арк.	№ док.	Ліст.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Богдан І. А.				-	1:2
Перев.		Шуляр Б. Р.					
Т.контр.		Шуляр Б. Р.			Аркциш	Аркциш	1
Реценз.							
Н.контр.		Шуляр Б. Р.					
Затв.		Панчук В. Г.					ІФНТУНГ



1 Сила прикладена до ручки при закріпленні деталі становить не менше 50 Н.
2 * Розміри для дослідок.

БР.ПМ-573.00.000				Лист	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		
Розроб.		Богдан І. А.			-	1:1
Перев.		Шуляр Б. Р.				
Т.контр.		Шуляр Б. Р.				
Реценз.						
Н.контр.		Шуляр Б. Р.				
Затв.		Панчук В. Г.				
					Аркциш	Аркциш 1
					ІФНТУНГ	

Дослідження впливу величини припуску на розмірну точність деталі типу "Фланець" засобами чисельного моделювання

Мета дослідження Встановити залежність між величиною припуску та точністю обробки внутрішньої циліндричної поверхні деталі типу "фланець" шляхом чисельного моделювання засобами Python.

Об'єкт дослідження. Процес механічної обробки внутрішніх поверхонь отворів деталей типу "фланець".
Предмет дослідження. Вплив величини припуску на точність обробки внутрішньої поверхні.

Вхідні дані

№	Назва	Позначення	Значення	Опис / примітка
1	Діаметр оброблюваної поверхні	D	184 мм	Внутрішній отвір у фланці
2	Довжина поверхні, що обробляється	L	25 мм	Орієнтовна глибина отвору
3	Матеріал заготовки	-	Сталь 40X (ДСТУ 4543-71)	Загальнобудівний конструкційний матеріал
4	Метод отримання заготовки	-	Штамповка	Для імітації залишкових нерівностей
5	Діапазон припусків для моделювання	a	0,2, 0,5, 1,0, 1,2, 1,8, 2,5, 3,2, 3,5, 4,0, 5,5 мм	Вибрано типові значення для практики
6	Кількість імітацій для кожного припуску	n	30	Для статистичної вибірки
7	Тип розподілу похибок	-	Нормальний (Гаусів)	Без систематичного зміщення
8	Середнє значення похибки	-	0	Ідеальне налаштування верстата
9	Формула для стандартного відхилення	-	$y = 0.01 + 0.004a$	Емпірична залежність для моделі
10	Моделювання похибок	-	$pr.randn.normal(\mu, \sigma, n)$	Python-функція генерації похибок
11	Кількість режимів моделювання	-	10	Відповідає кількості значень припуску
12	Середовище програмування	-	Python 3.10	Відкрита мова програмування
13	Використані бібліотеки	-	numpy, pandas, matplotlib	Для статистики та візуалізації
14	Вибірні характеристики моделі	-	середнє, y , \min , \max	Параметри оцінки точності обробки
15	Кількість всіх симульованих точок	-	$10 \cdot 4 \cdot 30 = 300$	Повний масив даних моделі

Завдання дослідження

- Проаналізувати технологічні умови точіння внутрішніх поверхонь фланців.
- Побудувати модель залежності похибки обробки від припуску.
- Реалізувати чисельне моделювання в середовищі Python.
- Оцінити похибки розмірів при різних значеннях припуску.
- Побудувати графіки та сформулювати висновки.
- Надати рекомендації щодо вибору раціональних припусків.

Методи дослідження

- Імітаційне моделювання;
- Статистичний аналіз похибок;
- Побудова графіків і візуалізація результатів;
- Аналіз результатів чисельного експерименту.

1. Фрагмент коду

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from typing import List, Tuple

class Machiningsimulation:
    def __init__(self, allowances: List[float], samples_per_group: int = 30):
        self.allowances = allowances
        self.samples_per_group = samples_per_group
        self.raw_data = pd.DataFrame()
        self.summary = pd.DataFrame()

    def standard_deviation_function(self, allowance: float) -> float:
        """Аналітична формула для визначення стандартного відхилення похибки"""
        return 0.01 + 0.004 * allowance
```

2. Фрагмент коду

```
def generate_simulated_data(self):
    """Генерує похибки обробки для кожного припуску"""
    np.random.seed(42)
    records = []
    for a in self.allowances:
        sigma = self.standard_deviation_function(a)
        deviations = np.random.normal(loc=0, scale=sigma, size=self.samples_per_group)
        for value in deviations:
            records.append(("Allowance (мм)": a, "Deviation (мм)": value))
        self.raw_data = pd.DataFrame(records)

    def analyze(self):
        """Обчислює статистику похибок"""
        if self.raw_data.empty:
            raise ValueError("Дані не згенеровані. Спочатку викличте generate_simulated_data().")

        self.summary = self.raw_data.groupby("Allowance (мм)").agg(
            Mean_Deviation=("Deviation (мм)", "mean"),
            Std_Deviation=("Deviation (мм)", "std"),
            Min_Deviation=("Deviation (мм)", "min"),
            Max_Deviation=("Deviation (мм)", "max")
        ).reset_index()
```

3. Фрагмент коду

```
def plot_results(self):
    """Побудова графіків за результатами аналізу"""
    if self.summary.empty:
        raise ValueError("Немає статистики для побудови графіків.")

    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.plot(self.summary["Allowance (мм)"], self.summary["Std_Deviation"],
            marker="o", linestyle="dashed", linewidth=2, label="o (Standard Deviation)")
    plt.xlabel("Allowance (мм)")
    plt.ylabel("Стандартне відхилення (мм)")
    plt.title("Залежність стандартного відхилення обробки від припуску")
    plt.grid(True)
    plt.legend()
    plt.tight_layout()
    plt.savefig("std_deviation_plot.png", dpi=300)
    plt.show()

    plt.figure(figsize=(10, 6))
    plt.bar(self.summary["Allowance (мм)"], self.summary["Mean_Deviation"], width=0.3)
    plt.xlabel("Allowance (мм)")
    plt.ylabel("Середнє відхилення (мм)")
    plt.title("Середнє відхилення розміру при різних припусках")
    plt.grid(True)
    plt.tight_layout()
    plt.savefig("mean_deviation_plot.png", dpi=300)
    plt.show()
```

4. Фрагмент коду

```
def export_results(self, filename: str = "summary_results.csv"):
    """Зберігає таблицю результатів у файл"""
    self.summary.to_csv(filename, index=False)

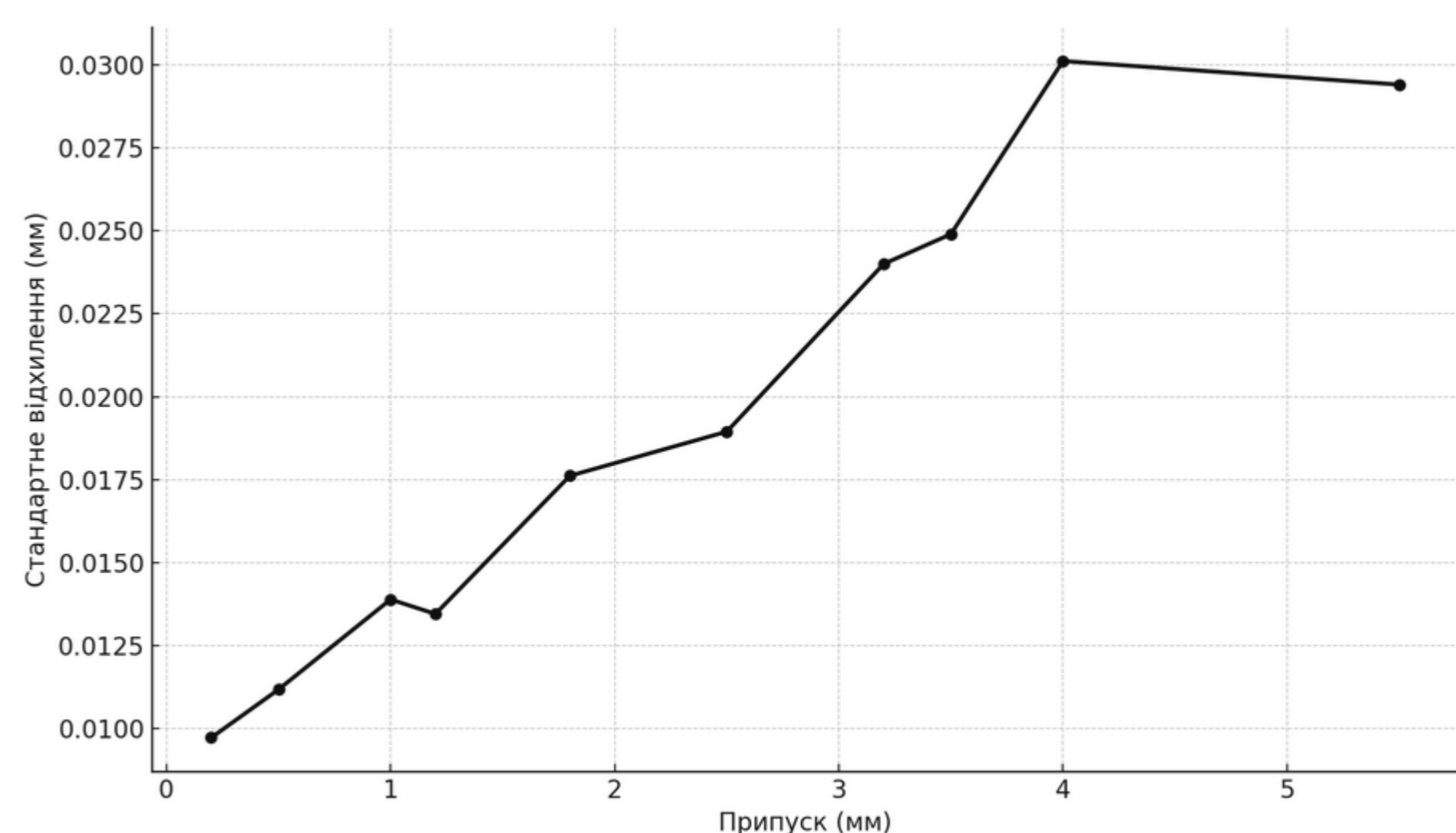
# Використання класу
if __name__ == "__main__":
    # Список припусків для аналізу
    input_allowances = [0.2, 0.5, 1.0, 1.2, 1.8, 2.5, 3.2, 3.5, 4.0, 5.5]

    # Ініціалізація моделі
    sim = Machiningsimulation(allowances=input_allowances)

    # Виконання моделювання
    sim.generate_simulated_data()
    sim.analyze()
    sim.plot_results()
    sim.export_results("detailed_machining_study.csv")
```

Таблиця результатів

Припуск (мм)	Середнє відхилення (мм)	Стандартне відхилення (мм)	Мінімум (мм)	Максимум (мм)	
1	0.20	-0.0020	0.0097	-0.0207	0.0171
2	0.50	-0.0015	0.0112	-0.0235	0.0222
3	1.00	0.0002	0.0139	-0.0367	0.0219
4	1.20	-0.0003	0.0135	-0.0284	0.0365
5	1.80	-0.0016	0.0176	-0.0276	0.0377
6	2.50	0.0056	0.0189	-0.0238	0.0544
7	3.20	0.0015	0.0240	-0.0345	0.0878
8	3.50	0.0012	0.0249	-0.0486	0.0556
9	4.00	-0.0037	0.0301	-0.0843	0.0552
10	5.50	0.0034	0.0294	-0.0625	0.0583



Аналіз результатів показав, що при збільшенні припуску спостерігається стійка тенденція до зростання розсіювання похибок. Якщо при припусках 0.2 - 0.5 мм стандартне відхилення становило приблизно 0.01 мм, то при припусках понад 3.0 мм воно перевищувало 0.025 - 0.035 мм, що в умовах високоточної обробки може бути критичним. Це підтверджується як числовими розрахунками, так і графічними побудовами. Отримані результати дозволяють оцінити ймовірність виходу оброблених розмірів за поля допусків, зокрема за Н8 та Н9.

Таким чином, встановлено, що найбільш раціональними припусками для забезпечення балансу між точністю та надійністю обробки є діапазон 1.0 - 1.5 мм. Припуски менші за 0.5 мм не гарантують видалення дефектного шару після штамповки, а припуски понад 2.5 мм вимагають додаткових заходів: жорсткого кріплення, багатопрохідної обробки або застосування високоточного обладнання.

Отримана модель є універсальною, може бути адаптована до інших типів обробки (наприклад, фрезерування, розточування) та інтегрована в САМ-системи для попередньої оцінки технологічної точності. Це значно підвищує ефективність планування виробництва і дозволяє приймати технічно обґрунтовані рішення на етапі розробки технологічного процесу.

Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Зроб							1:1
Лектор					Архив		1
Начальн.							ІФНТУНГ
Затв.							

