

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення  
патрубка ВКМ.Д-100-080-С-Р-001 шляхом оптимізації конструкції  
верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки  
на комплексній операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

*Дмитро КОЛЕСНИК*

Керівник

*Артем ЄВТУХОВ*

Нормоконтроль

*Олександр ІВЧЕНКО*

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі .....	12
1.3 Характеристика типу виробництва та форми його організації .....	14
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	17
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі .....	21
1.6 Висновок .....	25
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	26
2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки.....	26
2.2 Розроблення раціонального маршруту обробки заготовки .....	31
2.3 Уточнення операційних припусків на обробку поверхні обертання.....	34
2.4 Обґрунтування вибору схем базування і закріплення заготовки.....	36
2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування.....	40
2.6 Обґрунтування вибору верстатного пристрою, ріжучого та контрольно-вимірювального інструментів.....	42
2.7 Визначення режимів різання.....	43
2.8 Технічне нормування технологічних операцій.....	46
2.9 Проектування верстатного пристрою для базування й закріплення заготовки .....	49
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою .....	56
2.11 Висновок .....	71
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА КОМПЛЕКСНІЙ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ .....	73
3.1 Актуальність, мета та методи дослідження.....	73
3.2 Аналіз результатів статичного дослідження системи «пристрій- заготовка».....	79

3.3 Висновок .....	82
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	84

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Деталь «Патрубок» входить до складу шарового крану ДУ-100, що призначений для використання у складі запірної та регулюючої арматури газоперекачувальних та розподільних систем. Вони застосовуються для зміни обсягів використання робочого середовища або повного перекриття подачі технологічного середовища на певній ділянці системи. Тож удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей шарових кранів є актуальним завданням, що потребує комплексних технологічних рішень.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення заготовок деталей машин (тема НДР «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (№ 0116U000933)).

*Мета і задачі дослідження.* Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення «патрубка ВКМ.Д-100-080-С-Р-001» шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на комплексній з ЧПК операції.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі *задачі*:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення «патрубка»;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення «патрубка»;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки «патрубка» на комплексній з ЧПК операції;

4) виконати дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою методом статичного аналізу. Сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес виготовлення «патрубка ВКМ.Д-100-080-С-Р-001», операція комплексна з ЧПК.

*Предмет дослідження* – верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на операції комплексній з ЧПК, структура та параметри операції комплексної з ЧПК.

*Методи дослідження.* Твердотільну модель запропонованої конструкції верстатного пристрою розроблено в пакеті Компас-3D. Дослідження запропонованої конструкції верстатного пристрою методом статичного аналізу виконано в програмному комплексі скінчено-елементного аналізу ANSYS Workbench (модуль Static Structural).

*Наукова новизна:* в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний аналіз запропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «патрубка ВКМ.Д-100-080-С-Р-001» на операції комплексній з ЧПК, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних навантажень та структурно-параметричної оптимізації операції в цілому.

*Практичне значення* отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «патрубка ВКМ.Д-100-080-С-Р-001» на комплексній з ЧПК операції з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних навантажень та структурно-параметричної оптимізації операції в цілому.

*Апробація роботи.* Немає.

*Публікації.* Тези доповідей за результатами досліджень подано до редакції Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (СумДУ, м. Суми) та будуть опубліковані у квітні 2022 р.

*Особистий внесок автора.* Автором виявлені недоліки базової технології виготовлення «патрубка ВКМ.Д-100-080-С-Р-001», запропоновані технологічні рішення, спрямовані на вдосконалення існуючого технологічного процесу оброблення заготовки. Спроектвані конструкції верстатного та контрольнo-вимірювального пристроїв. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою методом статичного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції пропонованого верстатного пристрою та комплексної з ЧПК операції в цілому.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 12 найменувань, 84 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 13 таблиць.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації

Розглянута деталь Патрубок входить до складу шарового крану ДУ100 (рисунок 1.1), що призначений для запірної та регулюючої арматури. Вони застосовуються для зміни використання робочого середовища або повного перекриття подачі рідини на певній ділянці.



Рисунок 1.1 – Шаровий кран ДУ-100

Цей шаровий кран може витримувати температуру до 500°C, що дозволяє використовувати його в різних сферах промисловості. Зазвичай ДУ-100

розміщують під землею так, що на поверхні залишається лише важіль для того, щоб було можливо припинити подачу рідини чи природного газу.

Напрямок потоку рідини або газу можливий з двох сторін.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики шарового крану ДУ 100

Назва технічних характеристик	Показники
1. Діаметр номінальний, $D_N$ , мм	100
2. Тиск номінальний, $P_N$ , МПа	100
3. Робоче середовище	Природний газ, рідина
4. Швидкість робочого середовища, м/с	5...20
5. Температура робочого середовища, К(°C)	213...500 (-60...80)
6. Температура навколишнього середовища К(°C)	213...500 (-60...40)
7. Гідравлічні втрати в затворі на номінальному режимі (швидкість робочого середовища – 10 м/с, тиск 7,5 МПа, температура 50 °C)	0,01
8. Маса затвора, кг, не більше	18,5
9. Матеріал основних виробів	Сталь 20

Корпус 1 шарового крану ДУ 100 (рисунок 1.2) виконаний суцільним і служить для розміщення основних складальних одиниць, що входять до складу шару, у верхній частині корпусу виконаний люк, що закривається важелем.

Одним з найголовніших елементів шарового крану ДУ 100, це патрубок 7. Службове призначення «Патрубка» у виробі шаровий кран: «Патрубок» призначений для з'єднання крану з трубопроводом. Деталь закріплюється за допомогою різьби, на якій розміщені прокладка та ущільнювач. Завдяки цьому з'єднанню виріб запобігає витоку робочого середовища.



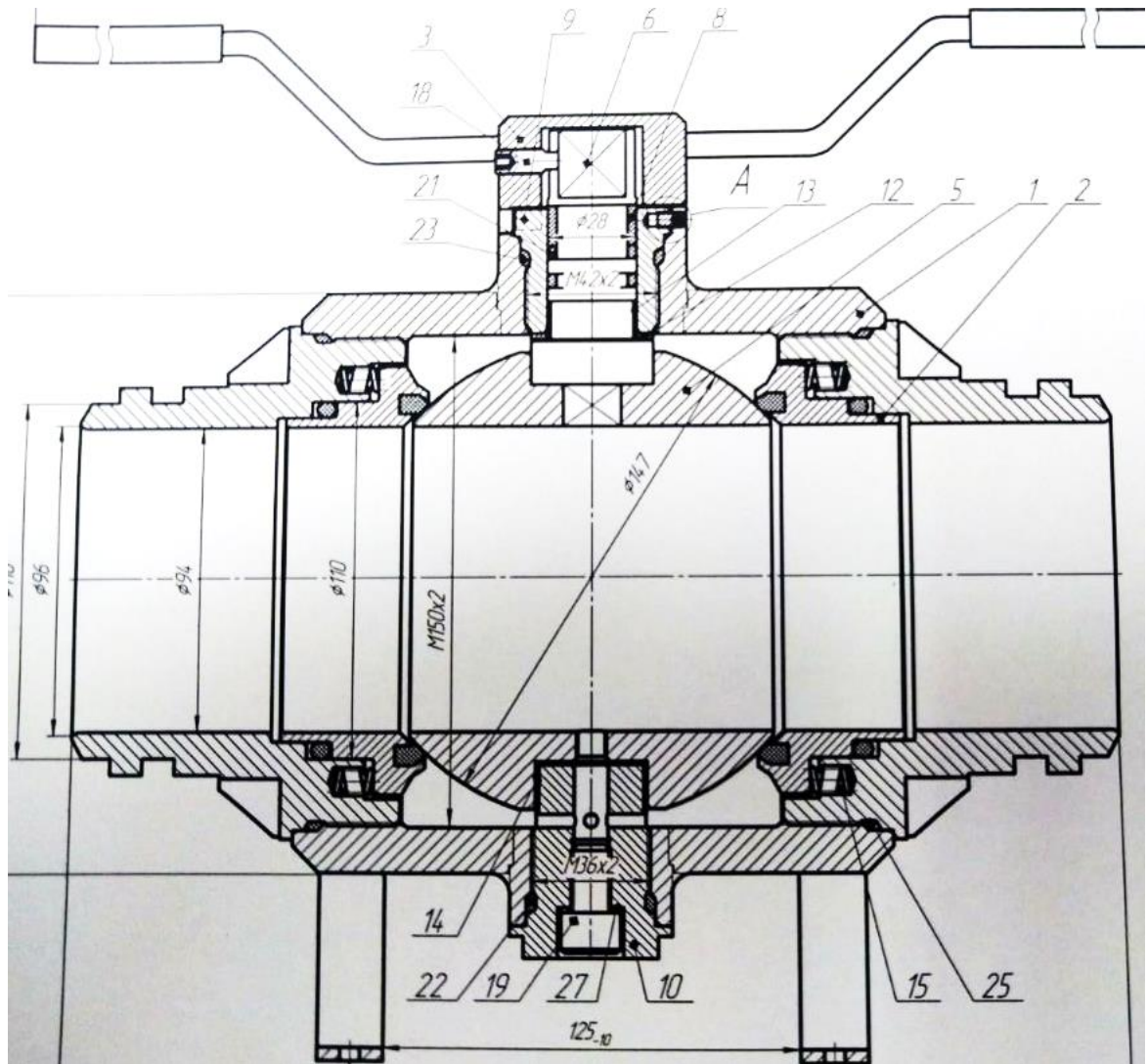


Рисунок 1.2 – Шаровий кран ДУ 100:

- 1 – корпус; 2 – сідло; 3 – рукоятка; 5 – пробка; 6 – шпindelь; 7 – патрубок;  
 8 – кільце; 9 – штуцер; 10 – опора; 12 – підшипник верхній;  
 13 – підшипник МФЛ; 14 – підшипник МФЛ; 15 – пружина; 16 – лапа;  
 17 – гвинт установчий M5×8; 18 – гвинт установчий M8×20; 19 – гвинт M12×20;  
 21, 22, 23, 24, 25 – кільця ГОСТ 18829 – 73; 27 – шайба

Деталь «Патрубок» (рисунок 1.3) являє собою тіло обертання з відношенням  $l/d=102/158=0,648$ . Найбільш точними поверхнями деталі є зовнішня різьба M150x2-6g. Найбільш високу якість мають циліндричні поверхні d110H9 Ra 1,6; d100H9 Ra 1,6; d147h9 Ra 1,6; d153 Ra 1,6.

Отже, деталь «Патрубок» відноситься до типу деталей обертання з наскрізним центральним отвором. Ця деталь є ступінчастою, достатньо жорсткою.

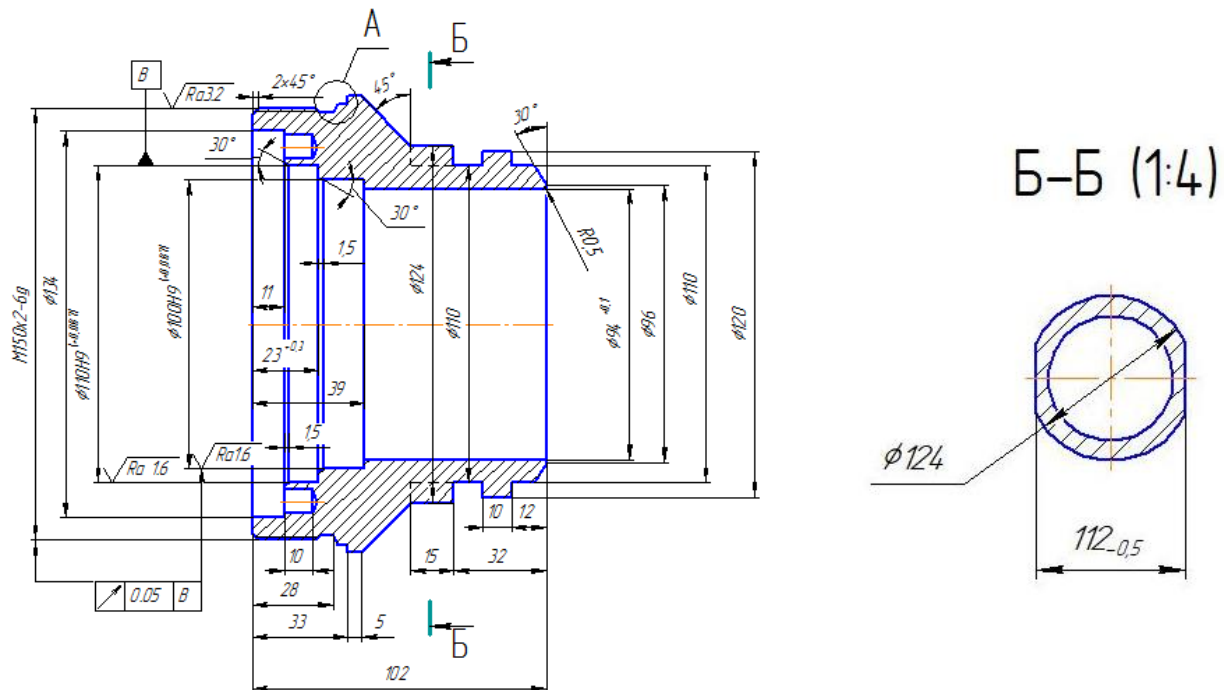


Рисунок 1.3 – Ескіз деталі «Патрубок»

Поверхні на деталі «Патрубок» зводяться до трьох видів:

- виконавчі – поверхні, за допомогою яких виріб виконує своє службове призначення, безпосередньо. Такими є різбова поверхня M150×2-6g; Ø112 та l 4,5 мм.

- базові – поверхні за допомогою яких виконується базування, тобто визначається положення самого виробу у виробі більш високого рівня або положення інших виробів, що приєднуються до нього. Такими поверхнями є Ø110h9 та Ø120, що базують деталь в 3-х кулачковому патроні з упором в торець Ø110/Ø100.

- вільні – поверхні, які не контактують з поверхнями інших виробів, але визначають габарити, масу, жорсткість і інші параметри деталі. Такими поверхнями є всі інші, що не зазначені вище.

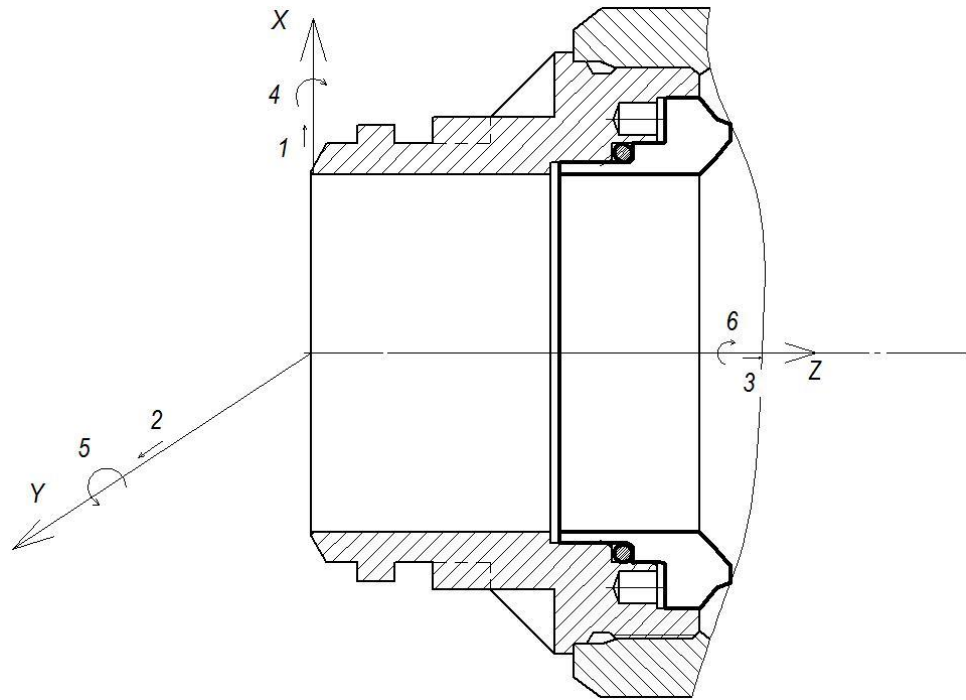


Рисунок 1.4 – Схема базування деталі у вузлі

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування бази
1,2	1,2	Подвійна опорна база
5,3,4	3,4,5	Установча база
6	6	Вакансія

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
$l$	1	1	0	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
$l$	0	0	1	УБ
$\alpha$	1	1	0	
$l$	0	0	0	Вакансія
$\alpha$	0	0	0	

## 1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

В цілому оформлення креслення «Патрубка» відповідає загальноприйнятим стандартам. На кресленні зображений один поздовжній вид деталі в перерізі, що є цілком достатнім для тіл обертання з наскрізним отвором.

Розстановка розмірів, їх допусків, точності форми і взаємного розташування поверхонь, шорсткості мають конструкторське значення для виконання службового призначення деталі і дають повне уявлення про конфігурацію, точність розмірів та якість поверхонь.

Деталь типу «Патрубок», належить до групи циліндричних виробів, симетричних з наскрізним отвором.

Матеріал деталі – конструкційна сталь 20 ГОСТ 1050-88.

Замінники матеріалу деталі: 40Х, 40ХН.

Хімічний склад сталі представлений в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сталі 20 ГОСТ 1050-88, %

С	Si	Mn	S	P	Cu	Ni
			не більше			
0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	0,4	0,035	0,25	0,25

Сталь 20 ГОСТ 1050-88 є у вигляді листового та сортового прокату. Використовується для виготовлення зварних конструкцій, трубопроводів, вкладишів та підшипників. Вироби з даною сталі після хіміко-термічної обробки (цементації, азотування) набувають високої поверхневої твердості та зносостійкості при невисокій міцності серцевини. Механічні властивості сталі представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі 20 ГОСТ 1050-88.

Термообробка	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ
		МПа		%			
		не менше					
Нормалізація	100-300	175	350	24	50	53	101-143
Гартування, відпуск	100-300	245	470	19	42	39	143-179
Нормалізація	До 100	175	350	17	38	39	167-207
	300-500			22	45		
Гартування, відпуск	300-500	315	570	12	30	29	167-207
	500-800			11			
Нормалізація	До 100	345	590	18	45	59	174-217
	100-300	345		17	40	54	
	300-500			14	38	49	
Гартування, відпуск	До 100	395	615	17	45	59	187-229
	100-300			15	40	54	
	300-500	13		35	49		
	До 100	440	635	16	45	59	197-235
	100-300			14	40	54	
	До 100	490	655	16	45	59	212-248
	100-300			13	40	54	

Технологічні властивості сталі 20 ГОСТ 1050-88.

Температура кування, °С: початку 1280°, кінця 750°.

Зварюваність – важкозварювальна, рекомендується зварювання плавленням з попереднім підігрівом і наступною термообробкою.

Обробка різанням –  $\sigma_B=640$  МПа,  $K_{V \text{ тв. спл}}=1$ ;  $K_{V \text{ б. ст}}=1$ .

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускної крихкості – схильна.

Необхідно вказати, яким чином впливають на роботу вузла технічні вимоги, які вказані на кресленні деталі (див. рисунок 1.3) конструктором.

Зниженню дисбалансу деталі, що здійснює обертальні рухи, продиктовано і вимогу з радіального биття зовнішньої різьбової поверхні М150х2-6g та внутрішньої d110Н9 відносно d110Н9 з допуском 0,05 мм, що до мінімуму зведе

можливість появи резонансних коливань патрубку в цілому. Точність даних допусків забезпечується можливістю обробки контролюємої поверхні на одному установі. Особливих вимог до твердості деталі немає.

Всі сполучення між внутрішніми та зовнішніми циліндричними ступенями «патрубку» виконують з радіусним скругленням по R2 , а на поверхнях d96 – R0,35; d147h9 – R0,8. А також фасками 2×45° та 0,5×45°. Всі ці вимоги дозволяють звести до мінімуму утворення між циліндричними ступенями деталі концентраторів напруження, що дуже важливо для такої деталі.

Шорсткість поверхонь забезпечуємо правильним підбором режимів різання, правильної геометрії інструменту, змащувально-охолоджувальною рідиною, а також жорсткістю технологічної системи (верстат, пристрій, інструмент, деталь). Найбільший вплив на висоту мікронерівностей має подача. Тому обрану подачу перевіряємо по можливості досягнення необхідної шорсткості поверхні. Найбільш точну шорсткість мають зовнішні циліндричні поверхні d110H9 Ra 1,6; d100H9 Ra 1,6; d147h9 Ra 1,6; d153 Ra 1,6, дана вимога досягається чистовим точінням.

### **1.3 Характеристика типу виробництва та форми його організації**

Тип виробництва – це комплексна характеристика технологічних, організаційних та економічних особливостей машинобудівного виробництва, обумовлена його спеціалізацією, обсягом і сталістю номенклатури виробів, а також формою руху виробів по робочих місцях.

Виходячи з річної програми випуску N = 5000 шт. і маси деталі понад 4,68 кг за попередніми розрахунками коефіцієнт виготовлення деталі здійснюється в умовах середньосерійного типу виробництва .

Визначимо кількість деталей в партії для одночасного запуску у виробництво за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{254},$$

де  $N$  – річна програма, шт.;

$a$  – періодичність запуску в днях (рекомендовано періодичність 3, 6, 12, 24 дні).

Вибираємо 6 днів.

$$n = \frac{5000 \cdot 6}{254} = 118,11 \approx 119 \text{ шт.}$$

Цей тип виробництва характеризується обмеженою номенклатурою продукції, що випускається, при цьому вироби кожного найменування випускаються певними партіями, що повторюються через певні відрізки часу.

Середньосерійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом. При середньосерійному виробництві деталі виготовляються партіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і однакових за розмірами виробів, що запускаються у виробництві одночасно. Основним принципом цього виду виробництва є виготовлення всієї партії (серії) цілком, як в обробці деталей, так і в складанні.

У серійному виробництві залежно від кількості виробів у серії, їх характеру і трудомісткості, частоти повторюваності серії протягом року розрізняють виробництво дрібносерійне, середньосерійне і великосерійне.

Серійне виробництво характеризується тим, що за кожним робочим місцем закріплено від 11 до 20 операцій. Характерно широке використання верстатів з ЧПК, пов'язаних транспортними пристроями і керовані засобами ЕОМ.

Середньосерійне виробництво є найбільш поширеним типом виробництва. На машинобудівних підприємствах середньосерійного типу виробництва виготовляється досить велика номенклатура виробів, хоча й більш обмежена ніж в одиничному виробництві. Частина виробів є спорідненими конструктивно-технологічними ознаками.

Іншою ознакою середньосерійного виробництва є повторюваність випуску виробів. Це дозволяє організувати випуск продукції більш-менш ритмічно. Випуск виробів у великих або відносно великих кількостях дозволяє проводити значну уніфікацію виробів і технологічних процесів; виготовляти стандартні або

нормалізовані деталі, що входять до конструктивні ряди, великими партіями, що зменшує їх собівартість.

Відносно великі розміри програм випуску однотипних виробів, стабільність конструкції, уніфікація деталей дозволяють використовувати для їх виготовлення разом з універсальним спеціальне високопродуктивне обладнання та спеціальне оснащення.

Оскільки в серійному виробництві випуск виробів повторюється, економічно доцільно розробляти технологічні процеси обробки і збірки детально; представляти кожен операцію у вигляді переходів; встановлювати режими обробки, точні назви верстатів, спеціального оснащення і технічні норми часу.

Організація праці в серійному виробництві відрізняється високою спеціалізацією. За кожним робочим місцем закріплюється виконання декількох певних деталеоперацій. Це дозволяє робітникові добре освоїти інструмент, пристосування і весь процес обробки; набути навичок і вдосконалити прийоми обробки. Так як в серійному виробництві застосовується велика кількість складного обладнання та спеціального оснащення, налагодження устаткування здійснюється спеціальними робочими-наладчиками.

Особливості серійного виробництва обумовлюють економічну доцільність випуску продукції по циклічно повторюється графіком. При цьому виникають необхідні умови для встановлення суворого порядку чергування виробів в цехах, на виробничих ділянках і робочих місцях. Технологічне оснащення в основному універсальна. Великого поширення набули універсальні збірні переналагоджувані пристосування, що дозволяють істотно підвищити коефіцієнт оснащеності виробництва. Ріжучий інструмент: в основному стандартний, рідше – спеціальний.

Вимірювальний інструмент: в основному спеціальний, рідше – стандартний. Технічне нормування робіт ведеться за допомогою розрахунку. Технологічна документація детально розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації для простих заготовок. Для них використовується гарячий і холодний прокат, лиття, поковки і



штамбування. Необхідна точність досягається методами автоматичного отримання розмірів, рідше – методом пробних ходів і замірів.

Характеристика заданого типу виробництва представлена у таблиці 1.6

Таблиця 1.6 – Характеристика типу виробництва

Показники	Тип виробництва
	Серійне
Номенклатура виробів	Обмежена
Характер випуску	Періодичний, серіями
Повторюваність виробництва	Місячна
Устаткування й оснащення	Універсальне і спеціальне
Кваліфікація робітників	Всі кваліфікації
Собівартість виробу	Не дуже висока
Розташування обладнання	По групах
Спеціалізація робочих	Обмежена

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності конструкції деталі спрямований на підвищення продуктивності праці, зниження витрат і скорочення часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування та ремонт виробу за умови забезпечення необхідної якості виробу, дотримання безпечних умов праці та екології виробництва. Чим простіше конструкція виробу, чим менше трудомісткість і собівартість його виготовлення, тим більш технологічним він є.

Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними ознаками.

До даного оцінювання можна віднести масу деталі, яка складає всього 4,68 кг для якої не потрібно шукати додаткових транспортно-підйомних засобів для закріплення та зняття деталі, транспортування по цеху, так як цілком зручно це робити оператору не потребуючи додаткового переходу в обробці. Також якщо аналізувати за габаритами деталі, які складають  $l/d=102/158$  яка відносно є дрібною зготовкою та є можливість обробляти майже на будь якому верстаті що є технологічними факторами.

Аналіз матеріалу заготовки показує, що використання для її виготовлення якісної нелегованої конструкційної сталі 20 ГОСТ 1050-88, є цілком обгрунтованим так як даний матеріал легко оброблюється майже будь-якими різцями, свердлами, фрезами і пояснюється високими характеристиками зварюваності, міцності та вимогам що пред'являють до поверхонь деталі в процесі її оброблення. Хімічний склад сталі 20 ГОСТ 1050-88, її структура і фізико-механічні властивості, див. п. 1.2 цієї пояснювальної записки, продиктовані умовами експлуатації «патрубку». До даної оцінки також можливо віднести собівартість матеріалу, так як дана сталь не є коштовною відносно наприклад сталей з великим вмістом легуючих компонентів, та набагато легше знайти замітник даної сталі, що також додає зручності в деяких випадках та можна віднести до технологічного фактору.

За геометричною формою поверхонь «патрубка» його конструкція достатньо проста і являє з себе втулку з центральним, наскрізним отвором. Його внутрішні та зовнішні діаметральні отвори зменшуються від одного кінця деталі до іншого. На деталі відсутні різкі переходи між циліндричними зовнішніми і внутрішніми ступенями, для чого між ними виконуються фаски, радіусні і конічні переходи, що усуває концентратори напружень, підвищує її експлуатаційну надійність і значить технологічність.

З точки зору зручності базування дана деталь є технологічною, оскільки є можливість закріплення цієї деталі в стандартні елементи верстатних пристроїв і не потребують додаткових витрат та конструювання спеціальних елементів пристроїв.

До не технологічних конструктивних елементів деталі слід віднести конічну форму поверхні при переході з  $\varnothing 124h12$  до  $\varnothing 158h12$  з кутом  $\angle 45^\circ$ . Ускладнює механічне оброблення заготовки наявність різьбової поверхні M150x2-6g з переходом у канавку 2x45°. Так технологічний процес виготовлення деталі вимагатиме використання багатоетапного оброблення та обладнання підвищеної точності. Крім того до поверхонь 12 отворів  $\varnothing 8,5$  пред'явлений позиційний допуск розташування, який становить 0,5 мм. Для обробки

внутрішнього діаметру d100H9 (шорсткість отвору за критерієм Ra 1,6) висунута вимога дотримання радіального биття яка складає 0,05 мм відносно бази Б. Наявність даних допусків є також не технологічною ознакою, оскільки потребує використання спеціальних КВП. В результаті, знову ж знижується продуктивність обробки, зростає її собівартість. Не технологічним слід вважати і обробку двох лисок l 112<sub>-0.5</sub> яка потребує додаткової операції та устаткування й інструменту. Знижують технологічність конструкції деталі такі елементи як: канавка Ø142; фаски 2x45°; конус 30°.

Різноманітність конструктивних форм спостерігається і при забезпеченні радіусних переходів між циліндричними ступенями деталі: R0,35, R0,8, що також потребує виготовлення прохідних, канавкових і підрізних різців з таким же різноманіттям радіусів при вершині різця. В результаті збільшуються витрати на виготовлення ріжучих інструментів, ускладнюються операційні налагодження із використанням великої кількості різців, зростає кваліфікація працівників та собівартість обробки. Підвищує трудомісткість механічної обробки заготовки висока розмірна точність деяких її поверхонь, зокрема : Ø147h9; Ø100H9; Ø100H9; різьба M150x2-6g.

В цілому можна зробити висновок що деталь «патрубок ВКМ.Д-100-080-С-Р-001» – технологічна, як при виготовлення заготовки так і при подальшому механічному обробленні. Оцінка технологічності за кількісними ознаками.

Для розрахунку коефіцієнта шорсткості і коефіцієнта точності необхідно скласти таблицю, в якій буде вказано характеристики (параметр шорсткості і квалітет точності) поверхонь деталі.

Коефіцієнт шорсткості визначається за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{A_{cp}} < 0,32,$$

де  $A_{cp}$  - середнє арифметичне значення шорсткості, за даними таблиці 1.7

$$K_{ш} = \frac{1}{A_{ср}} = \frac{1}{1,85} = 0,54$$

$$0,54 > 0,32$$

Так як коефіцієнт шорсткості вийшов більше, ніж 0,32, то значить, що за даним критерієм деталь не технологічна.

Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{B_{ср}} > 0,8,$$

де  $B_{ср}$  - середнє арифметичне значення квалітету точності = 7,3 за даними таблиці 1.7.

$$K_T = 1 - \left( \frac{1}{B_{ср}} \right) = 1 - \frac{1}{7,3} = 1 - 0,13 = 0,87$$

$$0,87 > 0,8.$$

Так як коефіцієнт точності становить 0,87, що більше ніж 0,8, то значить, що за даним критерієм деталь технологічна.

Таблиця 1.7 – Характеристика поверхонь деталі

Найменування поверхні	Кількість поверхонь	Параметр шорсткості Ra, мкм	Квалітет точності
Зовнішні циліндричні:			
∅ 158	1	3,2	12
∅ 153	1	1,6	12
∅ 120	1	3,2	12
∅ 147	1	1,6	9
∅ 110	1	3,2	12
∅ 96	1	3,2	12
∅ 94	1	3,2	10
∅124	1	3,2	12

Продовження таблиці 1.7

Внутрішні циліндричні:			
Ø 134	1	3,2	12
Ø 110	1	1,6	9
Ø 100	1	1,6	9
Ø 94	1	3,2	12
Лінійні:			
l102	1	3,2	12
l10	1	3,2	12
l32	1	3,2	12
l33	1	3,2	12
l39	1	3,2	12
l23	1	3,2	12
l11	1	3,2	12
Інші:			
Лиски d112	1	3,2	12
Конус 30	1	3,2	12
Канавки d142	1	3,2	
Фаски 2 x 45 <sup>0</sup>	1	3,2	12
Різьба M150 x2-6g	1	3,2	12
Отвори d8,5	12	3,2	12

З аналізу деталі на якісну та кількісну технологічність можна зробити висновок, що вона технологічна, хоча має деякі нетехнологічні елементи, але можна отримати за допомогою спеціального устаткування, пристосувань і різального інструменту.

### 1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Відповідно до завдання виконаємо аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі з пропозицією нововведень щодо обладнання, що використовується, технологічного оснащення, структури операцій і маршруту оброблення заготовки. Для зручності аналізу представимо базовий технологічний процес виготовлення деталі у вигляді таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Базовий технологічний процес.

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Заготовча	Розрізання круглого прокату	Пиловідрізний верстат	
010	Контроль ВТК	Контроль габаритних розмірів		
015	Токарно-гвинторізна	Попередня обробка зовнішніх циліндричних та торцевих поверхонь, розточування центрального отвору	Токарно-карусельний верстат, модель 16K20	По зовнішній циліндричній поверхні з упором у торець
020	Контроль ВТК	Проміжний контроль габаритних розмірів	На робочому місці	
025	Токарно-гвинторізна	Чорнова обробка зовнішніх циліндричних поверхонь, розточування ступінчастих отворів	Токарно-карусельний верстат, модель 16K20	Див. операцію 015
030	Розмічування	Розмічування двох лисок	Плита для розмічування	
035	Фрезерна	Фрезерувати 2 лиски по розміру 112 мм	Не зазначено	По торцевій й зовнішній циліндричній поверхні
040	Контроль ВТК	Проміжний контроль габаритних розмірів	На робочому місці	
045	Токарно-гвинторізна	Нарізання різі М150х2-6g, півчистове точіння внутрішніх отворів	Токарно-карусельний верстат, модель 16K20	По торцевій й зовнішній циліндричній поверхні
050	Контроль ВТК	Проміжний контроль габаритних розмірів	На робочому місці	
055	Токарно-гвинторізна	Чистове розточування внутрішніх ступінчастих отворів, півчистове точіння зовнішніх поверхонь	Токарно-карусельний верстат, модель 16K20	
060	Контроль ВТК	Проміжний контроль габаритних розмірів	На робочому місці	
065	Розмічування	Розмічування 12 отворів	Плита для розмічування	
070	Свердлильна	Свердління та зенкування 12 отворів	Не зазначено	По циліндричній та торцевій поверхні

Продовження таблиці 1.8

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
075	Контроль ВТК	Контроль габаритних розмірів згідно ескізу	На робочому місці	
080	Слюсарна	Притуплення гострих кромок, зняття задирок на лисках	Слюсарний верстат, напилок	
085	Технічний контроль	Підсумковий контроль усіх оброблених поверхонь на точність, якість та шорсткість згідно заданих вимог. Перевірка допусків форми	Стіл ВТК	
090	Маркування	Нанесення знаку ВТК	Робоче місце маркувальника	

На даному виробництві під час виготовлення деталі «патрубок» використовують маршрутний технологічний процес без операційних ескізів та без вказівок режимів різання, не вказуються операційні розміри заготовки та припуски які знімаються під час оброблення. Не на всіх операціях надається зміст операції, інструмент, технологічне оснащення, моделі верстатів та особливості базування заготовки. При створенні таблиці 1.8 була вказана вся існуюча інформація безпосередньо з діючого виробництва.

Аналізуючи заводський технологічний процес, можемо побачити що поверхні деталі обробляються чорновим, півчистовим та чистовим точінням. Для забезпечення шорсткості та точності ступінчастих отворів  $\varnothing 110H9$  та  $\varnothing 100H9$  (Ra 1,6 мкм) застосовується 3-х кратне розточування після отримання наскрізного центрального отвору. Це робиться для того щоб зменшити силу різання та деформацію бо знаття припуску ділиться на 3 частини при цьому ці етапи обробки реалізуються на трьох різних операціях для отримання заданих вимог. Взагалі, забезпечення точності за 9-м квалітетом точності не вимагає 3-х етапного оброблення поверхні заготовки. В цьому випадку цілком достатньо двох етапів оброблення. Трьохетапного оброблення вимагає низька шорсткість поверхонь отворів (1,6 мкм за критерієм Ra).

На всіх операціях даного технологічного процесу використовується застаріле універсальне обладнання та оснащення, через це виникають труднощі в обслуговуванні та забезпеченні потрібної якості й точності. Також в існуючому технологічному процесі можемо побачити, що широко використовується людська праця на розмічуваних та слюсарних операціях.

В даному технологічному процесі для забезпечення необхідної якості поверхонь (шорсткості, точності розмірів та форми) використовують такі інструменти, як прохідні, розточувальні та канавкові різці, свердла та фрези. Для перевірки заданих вимог з приводу якості використовують штангенциркулі, зразки шорсткості та граничні калібри у вигляді пробок. Заготовки транспортують та встановлюють на верстати та між операціями вручну.

Це все є резервом для проектування перспективного технологічного процесу, щоб зменшити використання ручної праці та кількості зайвих операцій. Досягти даної мети дозволить застосування багатоцільових обробних центрів з ЧПК, що дозволить відмовитися від малопродуктивного універсального обладнання та обробляти майже всі поверхні на одній операції за один установ.

Якщо аналізувати спосіб отримання заготовки прокатом в базовому технологічному процесі, то можна відзначити те що даний спосіб є не зовсім продуктивним для середньосерійного типу виробництва, так як мають місце великі припуски та напуски, але саме даний метод з однієї сторони не є коштовним, але з іншої багато матеріалу йде у стружку. Тому остаточний висновок про раціональність методу буде можливість дати лише після техніко-економічного обґрунтування.

Надлишковою є кількість операцій технічного контролю. Пропоную в перспективному технологічному процесі виготовлення деталі здійснювати технічний контроль якості оброблених поверхонь представниками ВТК тільки після чистового етапу оброблення. На інших етапах пропоную залишити контроль якості за відповідними робітниками на робочому місці. В цілому, використовуване обладнання та оснащення, базування відповідають заданій програмі випуску.



## 1.6 Висновок

В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі були виявлені такі його недоліки:

- 1) спосіб одержання заготовки (круглий прокат) характеризується великими припусками та напусками, що потребує значних витрат на додаткове механічне оброблення заготовки;
- 2) використання малопродуктивної ручної праці на операції розмічування;
- 3) майже на всіх операціях існуючого технологічного процесу не вказано обладнання, інструмент, режими різання та технічні норми часу;
- 4) використання фізично та морально застарілого металорізального устаткування;
- 5) низький рівень використання засобів автоматизації та механізації;
- 6) надлишкова кількість операцій технологічного контролю.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки

Основною умовою раціональної технології є максимальне приближення форми та розмірів заготовки до форми готової деталі. Основними методами утворення форми заготовок або їх основних поверхонь являються лиття, обробка тиском, формування, обробка різанням, наплавлення, металізація, напилювання, заливка рідким металом.

В базовому технологічному процесі виготовлення деталі «патрубок» заготовка отримана прокатом.

Переваги прокату:

- можливість виготовлення великогабаритних заготовок при використанні порівняно малопотужного обладнання;

- застосування універсального устаткування і оснащення дозволяють отримати заготовки широкого асортименту (циліндричні, шестикутні, квадратні і т.д.);

- порівнянно не велика вартість обладнання.

Недоліки прокату:

- низька продуктивність;

- великі припуски, допуски, напуски, що викликає великий обсяг механічної обробки.

Залежно від матеріалу деталі, типу виробництва, розмірів і конфігурації деталі пропонується метод отримання заготовки: штамповка на КГШП.

Переваги штамповки на горизонтально-кувальній машині (КГШП):

- штампування без обля, тобто немає необхідності в додаткових операціях;

- можливість широкого застосування робочих вставок найбільш зношуваних частин штампів, що знижує їх вартість;
- досягається економія металу, штампування проводиться переважно в закритих штампах, а штампувальні ухили в ряді випадків відсутні;
- можливість здійснювати штампування із мірних заготовок із прутка.

Недоліки штампування на КГШП:

- вартість штампування на КГШП вища ніж кування на молотах;
- стійкість штампів нижче, ніж у молотів і пресів;
- обмежена номенклатура одержуваних виробів.

Подальший вибір методу отримання заготовки здійснено за допомогою техніко-економічного обґрунтування. Спочатку визначемо вартість заготовок одержуваних прокатом:

$$S_{\text{заг}} = M + \sum C_{\text{с.о.}}$$

де  $C_{\text{с.о.}}$  – собівартість операцій плавки, калібрування прутка, розрізання на штучні заготовки;

$M$  – витрати на матеріал заготовки, грн.

$$C_{\text{с.о.}} = \frac{C_{\text{п.з}} \cdot T_{\text{шт.}}}{60}$$

де  $C_{\text{п.з}}$  – витрати на робочому місці грн/год;

$T_{\text{шт}}$  – штучне або штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції, хв.

Приймаємо  $C_{\text{п.з}} = 3,82$  грн/год . Для відрізної операції  $T_{\text{шт}} = 2,622$  хв.,

$$C_{\text{с.о.}} = \frac{3,82 \cdot 2,622}{60} = 0,166 \text{ грн}$$

Витрати на матеріал визначаються за масою прокат, який потрібен для виготовлення деталі та за масою стружки, яка здається:

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

де  $Q$  – маса заготовки, кг;  $Q = 20,268$ ;

$S$  – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн;  $S = 20$  грн;

$q$  – маса готової деталі кг;  $q = 4,68$  кг;

$S_{\text{від}}$  – ціна 1 т відходів,  $S_{\text{від}} = 4,2$  грн;

$$M = 20,268 \cdot 20 - (20,268 - 4,68) \cdot \frac{4200}{1000} = 339,9 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу обчислюємо за формулою:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}} = \frac{4,68}{20,268} = 0,230$$

де  $M_{\text{з}} = 6,13$  кг – маса заготовки;

$M_{\text{д}} = 4,68$  кг – маса деталі.

Знаходимо собівартість прокату:

$$S_{\text{заг}} = 0,166 + 339,9 = 340,06 \text{ грн}$$

Розраховуємо собівартість заготовки отриману за допомогою штампування на КГШП.

Собівартість розраховується за формулою згідно з методикою, викладеною в [3]:

$$S_{\text{заг}} = \left( \frac{C}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_{\text{П}} \cdot K_{\text{Н}} \cdot K_{\text{В}} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}$$

де  $C = 20000$  грн – базова вартість 1 тони заготовки, грн;

$Q = 6,13$  кг – маса заготовки;

$q = 4,68$  кг – маса деталі;

$K_T = 1$  – коефіцієнт враховуючий точність поковки;

$K_M = 0,93$  – коефіцієнт враховуючий властивості матеріалу;

$K_P = 1,15$  – коефіцієнт враховуючий групу серійності;

$K_N = 1$  – коефіцієнт враховуючий групу складності;

$K_B = 1$  – коефіцієнт враховуючий масу поковки;

$S_{вдх} = 4200$  грн – ціна 1 тони відходів.

$$S_{заг} = \left( \frac{20000}{1000} \cdot 6,13 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (6,13 - 4,68) \cdot \frac{4200}{1000} = 125,03 \text{ грн}$$

За попередніми розрахунками припусків і допусків з граничними відхиленнями розмірів зведено в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця для визначення розмірів заготовки, мм

Розмір деталі	Чистота поверхні	Припуск	Додатковий припуск	Розрахунковий розмір заготовки	Приймаємий розмір заготовки	Фактичний припуск
Ø 158	6,3	1,8	0,3	Ø 162,2	Ø 162	2,1
Ø 150	3,2	1,8	0,3	Ø 154,2	Ø 154	2,1
Ø 124	6,3	1,8	0,3	Ø 128,2	Ø 128	2,1
Ø 94	6,3	1,7	0,3	Ø 90	Ø 90	2,0
Ø 110	1,6	1,8	0,3	Ø 105,8	Ø 106	2,1
Ø 134	6,3	1,8	0,3	Ø 129,8	Ø 130	2,1
L102	6,3	1,8	0,2	L106	L106	2,0
L28	6,3	1,6	0,2	L31,6	L32	1,8
L11	6,3	1,7	1,6	L11,2	L11	0,2
L10,5	6,3	1,8	1,6	L10,5	L10,5	0
L47	6,3	1,6	0,2	L50,8	L51	1,9

Дізнавшись розміри заготовки, можна знайти масу заготовки за допомогою програми «Компас-3D» = 6,13 кг.

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою:

$$K_B = \frac{m_D}{m_3}$$

де  $m_D$  - маса деталі,  $m_D=4,68$  кг.

$$K_B = \frac{4,68}{6,13} = 0,76$$

Таким чином, вартість заготовок, одержуваних на ГКМ, менше вартості звичайних поковок, та коефіцієнт використання матеріалу – більше. Тому подальше порівняння одержуваних заготовок по відмінностям обсягів їх механічної обробки недоцільно.

Ескіз виливки покажемо на рисунку 2.1.

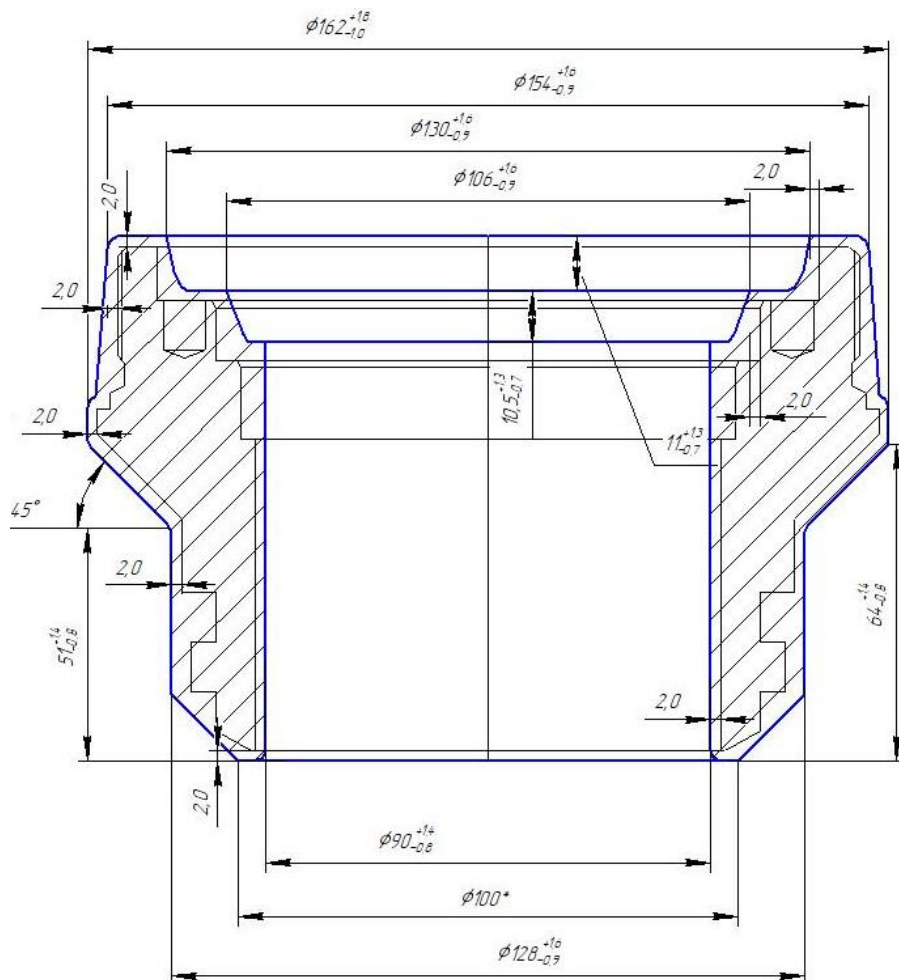


Рисунок 2.1 – Ескіз поковки

## 2.2 Розроблення раціонального маршруту обробки заготовки

Розробка технологічного процесу обробки деталі ґрунтується на аналізі службового призначення всіх її поверхонь, аналізі технічних вимог, що пред'являють до деталі, умов її подальшої експлуатації. При цьому враховується принцип поетапності, коли спочатку виконують всі чорнові операції, потім чистові та оздоблювальні операції, дозволяючи в умовах економічно досяжної точності обробки забезпечити задану якість оброблюваних поверхонь.

Так як в пропонованому технологічному процесі методом отримання заготовки є штампування на КГШП, то величини припусків та напусків будуть набагато меншими, тому кількість зрізуваного металу й час на виготовлення деталі зменшуються, що в свою чергу впливає на собівартість та продуктивність виготовлення згідно середньосерійного типу виробництва. Також одним із важливих критеріїв даного способу є те, що заготовки отримується вже з центральним отвором в свою чергу не потребуючи окремої операції свердління.

Попередній аналіз маршруту оброблення окремих поверхонь патрубку, зокрема центральних ступінчастих циліндричних отворів  $\varnothing 100H9$ ;  $\varnothing 100H9$  показав, що для отримання точності поверхні за IT8 достатньо двох-кратного оброблення, але для отримання шорсткості за критерієм Ra 1,6 мкм потрібно робити обробку в три етапи. Отже всі 3 переходи раціонально робити на одній механічній операції.

Як вже було зазначено (пункт 1.4), в існуючому технологічному процесі використовується застаріле обладнання та устаткування, саме тому у проєктованому технологічному процесі будемо використовувати верстат з ЧПК що дасть нам змогу зменшити кількість операцій, прибрати ручне розмічування. В результаті буде підвищено продуктивність оброблення заготовки.

З урахуванням висловлених пропозицій перспективний технологічний процес обробки заготовки «патрубку» буде складатися лише з двох механічних операцій, а саме з багатоцільової операції та свердлильної. На багатоцільовій

операції буде можливість одразу й точити, розточувати, фрезерувати та нарізати різь, та окрема свердлильна операція для обробки 12 глухих отворів.

Відміною перспективного технологічного процесу від базового, зокрема, є реалізація багатоетапного оброблення поверхонь заготовки, що виконується за рахунок багатопрохідного точіння (розточування) різним інструментом з використанням різних режимів різання, але в межах однієї операції.

Завдяки невеликим розмірами та масі заготовки, є можливість її оброблення з автоматичним переустановленням на верстаті з контршпинделем.

Отже в результаті проведеного аналізу, пропоную такий маршрут технологічного процесу механічного оброблення розглянутого «патрубку» наведеного в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Короткий опис пропонованого маршруту обробки «патрубка»

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Оброблення тиском	Штампуння	КГШП	
010	Технічний контроль	Контроль габаритних розмірів	Стіл ВТК	
015	Комплексна з ЧПК Позиція 1	Чорнове розточування центрального отвору, чорнова та півчистова обробка зовнішніх циліндричних поверхонь, точіння канавки	Верстат SMEC SL-2500SY	В 3-х кулачковому патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець
015	Комплексна з ЧПК Позиція 2	Фрезерування 2-х лисок	Верстат SMEC SL-2500SY	В 3-х кулачковому патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець



Продовження таблиці 2.2

015	Комплексна з ЧПК Позиція 3	Чорнове , півчистове та чистове розточування циліндричних ступінчастих отворів. Півчистове, чистове точіння зовнішньої циліндричної поверхні. Нарізання різі M150x2-6g	Верстат SMEC SL-2500SY	В 3-х кулачковому патроні по внутрішній циліндричній поверхній с упором в торець
020	Технічний контроль	Контроль розмірів та шорсткості оброблених поверхонь	Стіл ВТК	
025	Комплексна з ЧПК	Свердління 12 отворів.	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат типу обробний центр Leaderway V-650	Базування відбувається по внутрішній циліндричній поверхні з упором в торець зовнішньої циліндричної поверхні
030	Технічний контроль	Контроль розмірів та шорсткості оброблених поверхонь згідно с тех.ескізом, Контроль різьби M150x2-6g, внутрішніх отворів Ø110H9; Ø100H9	Стіл ВТК	
035	Слюсарна	Прибирання можливих задирок на лисках	На робочому місці	
040	Маркування	Клеймити знак ВТК	Робоче місце маркувальника	

Як можемо побачити з таблиці 2.2 в пропонованому варіанті маршруту технологічного процесу обробки деталі «патрубок» порівняно з існуючим технологічним процесом кількість операцій було скорочено з 18 до 10. Це зумовлено використанням принципу концентрації операцій, а саме комплексної операції 015 на обробному центрі з ЧПК. Це дозволило скоротити малопродуктивні методи ручної праці при цьому скорочується й основний час на операцію , як наслідок зменшується й собівартість обробки заготовки в цілому.

Маршрут обробки відповідає принципу поетапності та правил побудови технологічних процесів для типових деталей. Розглянувши контроль точності та якості поверхонь які в базовому технологічному процесі були «на робочому місці» то можна сказати що це має суттєві недоліки, що негативно впливають на якість контрольної операції, як наслідок кількість даних операцій була скорочена та вказана лише після чистової обробки поверхонь з використанням спеціальних приладів та інструментів.

### 2.3 Уточнення операційних припусків на обробку поверхні обертання

Згідно завдання, виконаємо розрахунок припусків, внутрішньої циліндричної поверхні  $d100H9(+0,087/0)$ . Знаходження припуску внутрішньої циліндричної виконаємо за допомогою методу проф. В. М. Кована:

$$2Z_{min(i)} = 2 \left( R_{z(i-1)} T_{(i+)} + \sqrt{p_{(i-1)}^2 + \sum y_{(i)}^2} \right)$$

- $R_z$  - шорхність поверхні
- $T$  – глибина дефектного шару
- $p$  – відхилення форми
- $\sum y$  – похибка установки
- $(i-1)$  – попередній перехід
- $i$  – виконуваний перехід

Перераховані показники є величинами табличними, окрім величини просторових відхилень заготовки  $\rho_{i-1}$ , яка розраховується як:

$$\rho_{i-1} = \rho_{заг} = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}$$

де  $\rho_{зм} - \delta$  – допуск на поверхню,  $\delta = 2,0$  мм.

$\rho_{\text{кор}}$  – похибка короблення заготовки:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot D$$

де  $\Delta_k$  – питома кривизна заготовки,  $\Delta_k = 0,3$  [5, с.186];

$D$  – найбільший діаметр заготовки,  $D = 162$  мм.

$$\rho_{\text{кор}} = 0,3 \cdot 162 = 48,6 \text{ мкм}$$

Отже, після знаходження за попередніми розрахунками всіх комплектуючих величини просторових відхилень заготовки  $\rho_{i-1}$  становить :

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{2^2 + 48,6^2} = 48,64 \text{ мкм}$$

Остаточні величини просторових відхилень визначимо з урахуванням коефіцієнтів уточнення  $K_u$ :

$$\rho_{\text{ост}} = \rho_{\text{заг}} \cdot K_u$$

де  $K_u$  – коефіцієнт уточнення форми:

- чорнове точіння штампованих заготовок,  $K_u = 0,09$ ;
- напівчистове точіння штампованих заготовок,  $K_u = 0,08$ .
- чистове,  $K_u = 0,06$ . Знайдемо  $\rho$  для кожного з переходів.

В результаті маємо:

$$\rho_{\text{чор.точ}} = 48,64 \cdot 0,09 = 4,37 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{н-ч.точ}} = 48,64 \cdot 0,08 = 3,89 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{чис.точ}} = 48,64 \cdot 0,06 = 2,91 \text{ мкм}$$

Можемо зробити висновок , що за допомогою визначення припусків розрахунково-аналітичним методом проф. В. М. Кована є можливість скоротити матеріаломісткість заготовки й тим самим зменшити собівартість її отримання.

Згідно даних, було побудовано схему розташування припусків та допусків приведену на рисунку 2.2

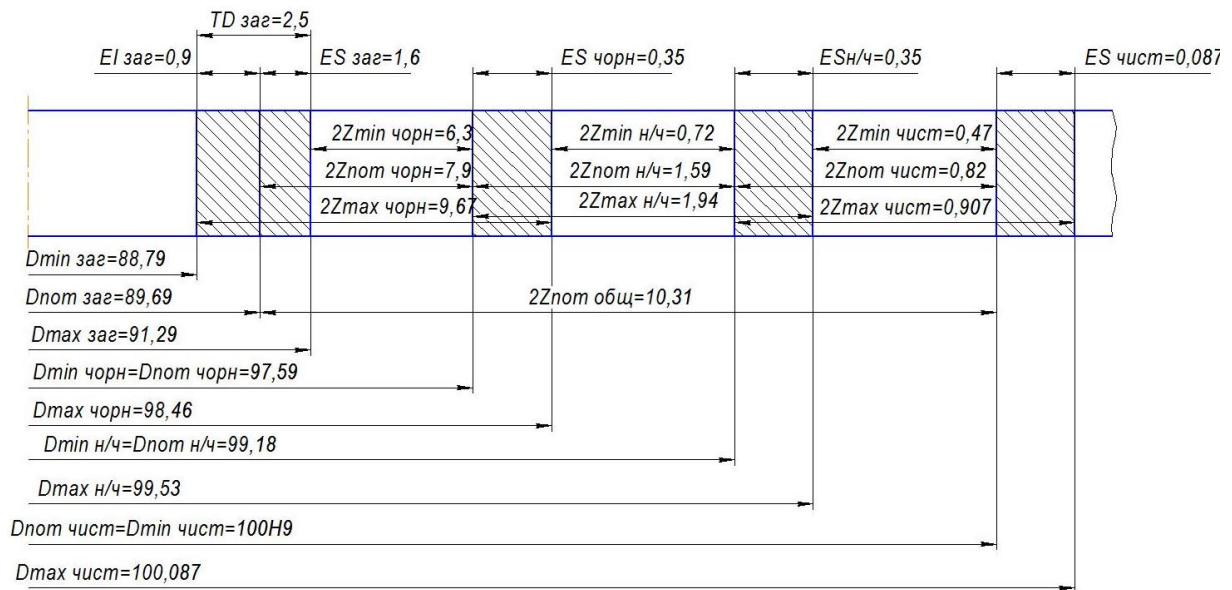


Рисунок 2.2 – Схема розташування допусків та припусків на розмір  $d100H9(+0,087/0)$  мм

## 2.4 Обґрунтування вибору схем базування і закріплення заготовки

Операція 015 комплексна з ЧПК перспективного технологічного процесу. На даній операції обробляються майже всі поверхні заготовки (окрім 12 отворів  $\varnothing 8,5$  так як для цих отворів має місце окрема комплексна операція 025 (див. таблицю 2.1)). Але має ця операція 3 позиції. Розглянемо базування окремо для кожної позиції.

Починаючи з позиції 1, заготовка базується по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець (див. рисунок 2.4). Ці поверхні є найбільш розвинутими за площею та мають просту форму (площина та циліндр). При цьому реалізується

установлювальна технологічна база, що позбавляє деталь 3-х ступенів свободи (поступального переміщення вздовж осі Z й обертання навколо осей X і Y) та подвійна опорна, що позбавляє заготовку двох ступенів свободи (поступальних переміщень вздовж осей X та Y). Упор заготовки в лівий торець дозволяє забезпечити дотримання принципу суміщення технологічної та вимірювальної баз для розміру 104 мм, що заперечує наявність похибки базування та дозволяє забезпечити вимоги креслення деталі щодо точності оброблюваних поверхонь. Вибір зовнішньої циліндричної поверхні саме на першій позиції є обґрунтованим так як на наступних операціях саме дана поверхня має бути оброблена під нарізування різі з точністю 6g.

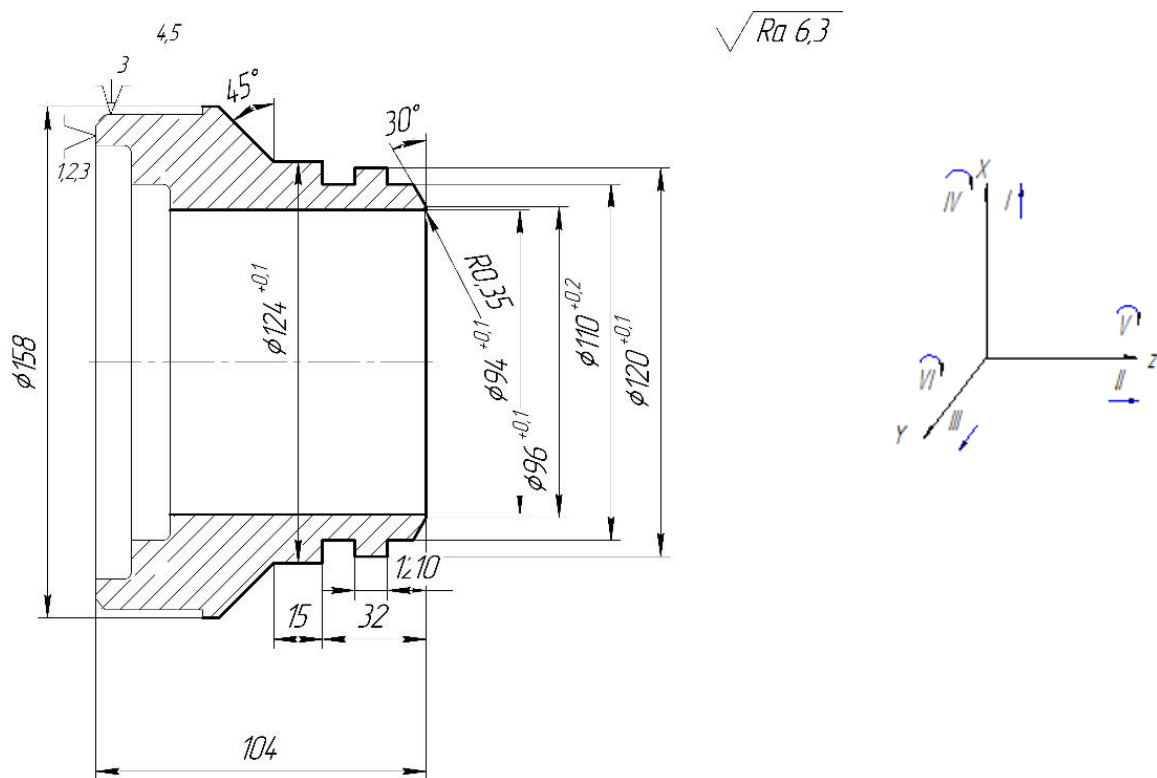


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки на операції комплексній з ЧПК 015, позиція 1

На позиції 2 заготовка базується в трьохкулачному патроні контршпинделя (див. рисунок 2.5), що додає зручності в обробенні поверхонь, так як процесу переустановлення заготовки (зміни її позиції) є автоматизованим та не потребує фізичного втручання робітника. На даній позиції реалізується аналогічна схема

базування, тільки тепер – за правим торцем та поверхнею центрального отвору. Все також реалізуються установлювальна та подвійна опорна технологічні бази. Завдяки використанню системи контролю (керування) координатою обертання шпинделя верстата ми маємо чудову можливість оброблення протилежних лисок деталі без фізичної реалізації шостого ступеня свободи.

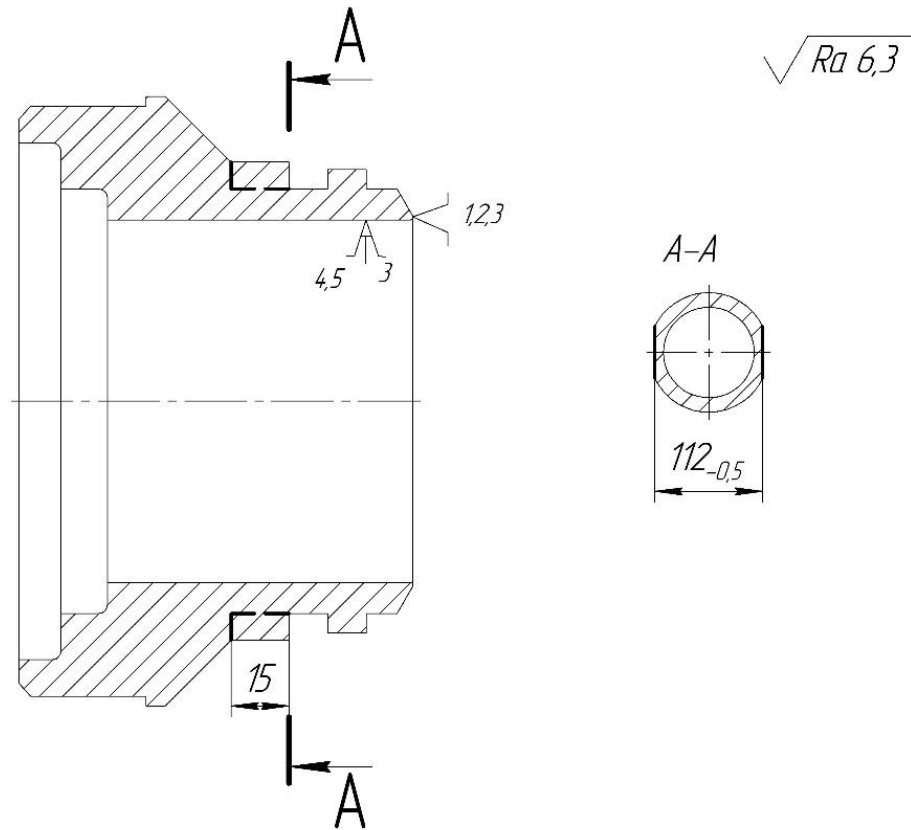


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції комплексній з ЧПК 015, позиція 2

На 3-й позиції (див. рисунок 2.6) реалізується схема базування, аналогічна до схеми на рисунку 2.4: установлювальна технологічна база, що позбавляє деталь 3-х ступенів свободи (поступального переміщення вздовж осі Z й обертання навколо осей X і Y) та подвійна опорна, що позбавляє заготовку двох ступенів свободи (поступальних переміщень вздовж осей X та Y).

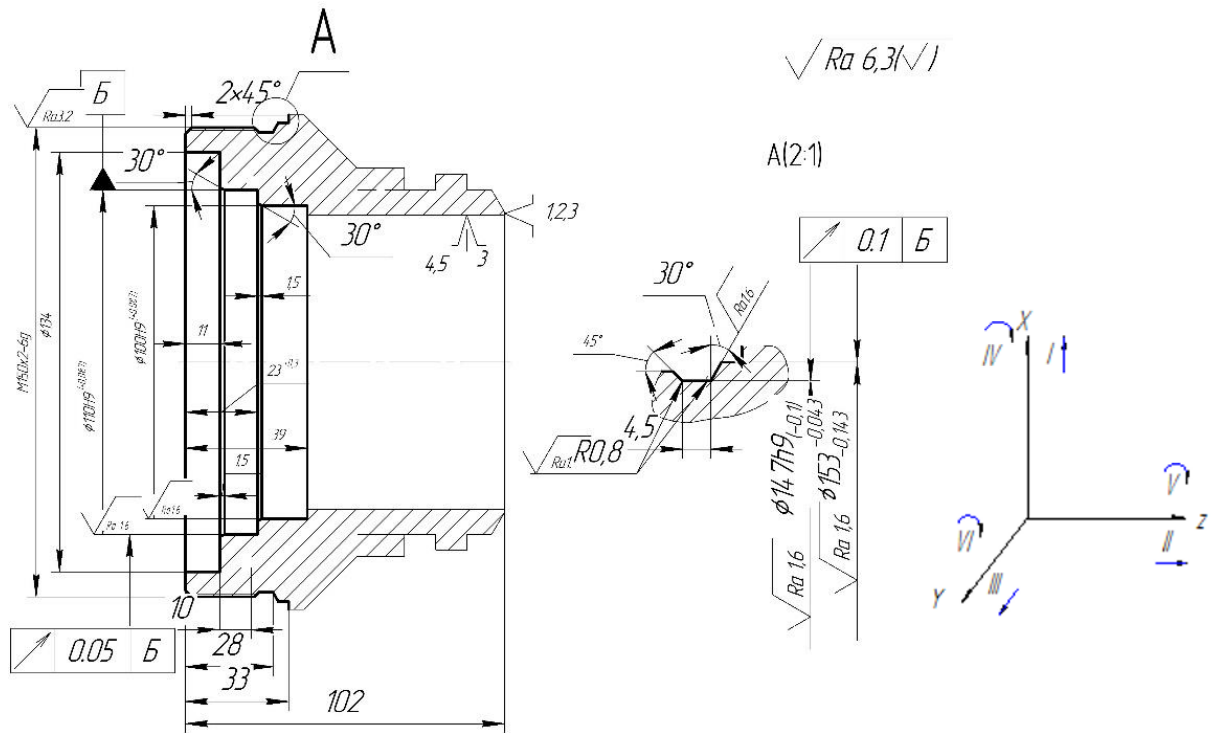


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки на операції комплексній з ЧПК 015, позиція 3

На комплексній операції із ЧПК (див. рисунок 2.7), виконується свердління 12-ти глухих отворів  $\varnothing 8,5^{+0,015}$ . Заготовка встановлена на вертикальному-свердлильно-фрезерно-розточувальному з ЧПК, що передбачає вертикальне її положення. При встановленні заготовки на даному верстаті планується використовувати спеціальний верстатний пристрій з механізованим приводом закріплення заготовки (пневмоциліндром двосторонньої дії).

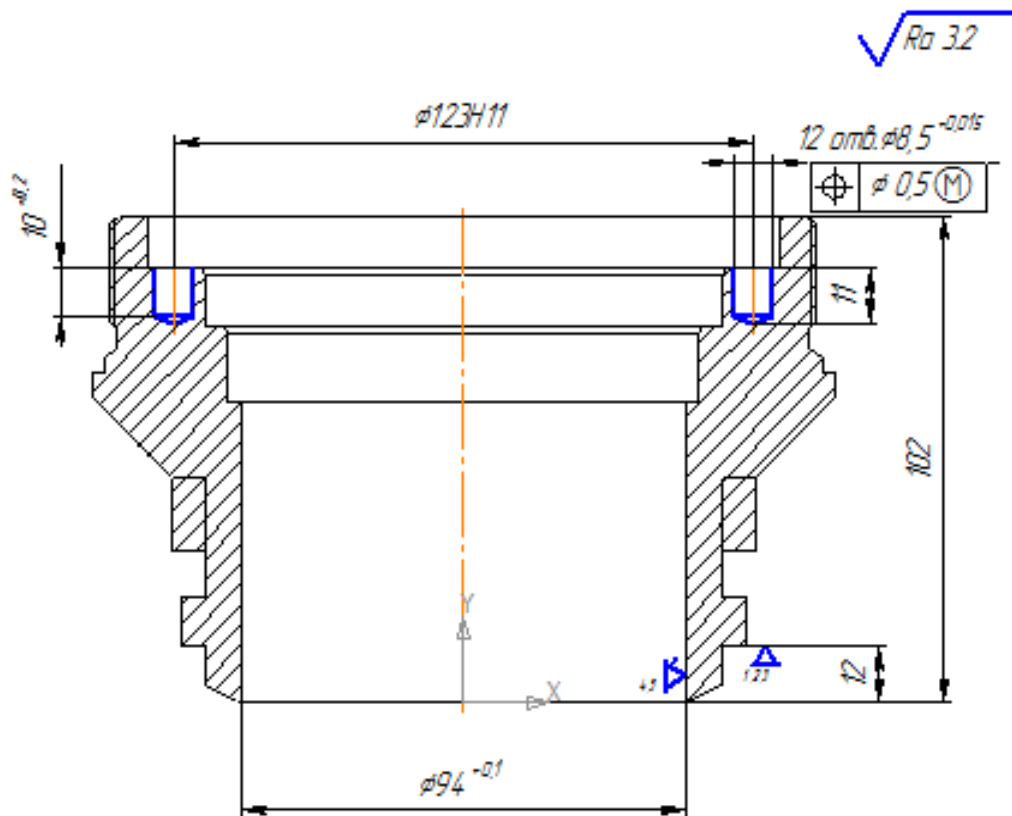


Рисунок 2.6 – Схема базування заготовки на операції комплексній з ЧПК 025

При цьому, по внутрішній циліндричній поверхні реалізується подвійна опорна база, яка позбавляє двох степенів вільності (переміщення по осі Z та Y), а по зовнішньому торцю - установча база, яка позбавляє трьох степенів вільності (обертання по осі Z та Y та переміщення по осі X).

## 2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

Аналізуючи базовий технологічний процес, при токарно-гвинторізній операції використовується токарно-карусельний верстат моделі 16К20, що цілком підходить для обробки зважаючи на масу та габарити заготовки, потужність обладнання, але не зовсім раціональним є при середньосерійному типі виробництва та знову ж таки зважаючи на те що це верстат ще 70-80-х років та є фізично та морально застарілим. Тому для виконання операції 015 багатоцільова з ЧПК, за



допомогою сучасних каталогів верстатного обладнання вибираємо токарний верстат з ЧПК мод. SL-2500SY. Система ЧПК: «FANUC 0i-TF».

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться точіння зовнішніх поверхонь, точіння канавок, нарізання різі, фрезерування лисок, розточування отворів) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики верстата з ЧПК мод. SL-2500SY

Характеристика	Величина
Найбільший діаметр встановлюваного виробу над станиною, мм	650
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм	350
Діаметр циліндричного отвору в шпинделі, мм	77
Максимальна оброблювана довжина, мм	535
Поперечні переміщення, мм	100
Поздовжні переміщення, мм	500
Кількість керованих координат	3
Кількість одночасно керованих координат	3
Швидкість обертання шпинделя, об / хв	3500/6000
Максимальна швидкість робочої поздовжньої подачі, мм/хв	2000
Максимальна швидкість робочої поперечної подачі, мм/хв	1000
Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв	20...2500
Кількість позицій інструментальної головки	12
Швидкі поздовжні переміщення, м/хв	15
Швидкі поперечні переміщення, м/хв	7,5
Точність позиціонування, мм	0,001
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	22
Маса, кг	5900
Габаритні розміри, м	3,658x1,930

*Операція 025 комплексна з ЧПК.* Для виконання свердлильної операції в базовому технологічному процесі не було зазначено моделі верстату. Тому в перспективному технологічному процесі знову ж таки завдяки каталогам сучасного верстатного обладнання будемо використовувати вертикально-фрезерний верстат ЧПК Leaderway V-650. Найважливішими факторами вибору даного верстату є розміри робочого столу (див.таблиця 2.3) так як на ньому необхідно розмістити

верстатний пристрій довжиною 450 мм для закріплення заготовки ,та введення засобів автоматизації.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики верстата з ЧПК Leaderway V-650

Характеристика	Величина
Область обробки по осі X, мм	650
Область обробки по осі Y, мм	410
Область обробки по осі Z, мм	500
Відстань від торця шпинделя до оповерхні столу, мм	125-625
Розміри столу, мм	770 x 400
Максимальна нагрузна на стіл, кг	300
Частота обертів шпинделя , об/хв	10000
Потужність шпинделя, кВт	7,5/11
Максимальна швидкість переміщення по осі X, м/хв	24
Максимальна швидкість переміщення по осі Y, м/хв	24
Максимальна швидкість переміщення по осі Z, м/хв	20
Автоматична зміна інструменту.Кількість в обоймі, шт	16-24
Максимальний діаметр інструментів, мм	125
Максимальна вага інструменту, кг	7
Час зміни від інструменту до інструменту, сек	8
Точність позиціонування, мм	+/-0,005
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	20
Маса верстату, кг	4200
Габаритні розміри, мм/мм	2850x1900

## 2.6 Обґрунтування вибору верстатного пристрою, ріжучого та контрольньо-вимірювального інструментів

На операції 015 - комплексна з ЧПК, для установки і закріплення заготовки вибираємо трьох-кулачковий патрон 7108-002,D=200 мм.

Для обробки зовнішніх поверхонь використовуємо різець токарний прохідний з механічним кріпленням та підтисканням важелем через отвір твердосплавної непереточуваної ромбічної пластинки з кутом в плані 95°, задній кут пластини 0°, радіусом скруглення 0,4 мм. Правий – перерізом 25×25 мм, довжиною 170 мм. Позначення: різець SVJBL2525 M16 матеріал - T15K6.

Розточування центральних отворів виконується розточним різцем S40V-PD UNL 25x25.

Для нарізання різі використовуємо різець спеціальний різьбовий SER2525 M16, для фрезерування лисок обираємо фрезу HIGH FEED  $\varnothing 20$ (R217.21-1820). Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89 і штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1-2 ГОСТ 166-89, шаблон для канавок і конусу 30° та 45°, зразки шорсткості згідно з ГОСТ 9378-75. Для контролю різьбової поверхні M150x2-6g використовуємо калібр-кільце різьбове, для контролю внутрішніх циліндричних поверхонь  $\varnothing 100H9$  та  $\varnothing 110H9$  обираємо калібр-пробку ГОСТ 14820-69(ПР) та ГОСТ 14821-69(НЕ).

На операції 025 комплексна з ЧПК для базування та закріплення заготовки використовуємо верстатний пристрій – пневмоциліндр двусторонньої дії який цілком зручно встановлювати на робочий стіл верстату Leaderway V-650.

Для оброблення 12-ти отворів використовуємо свердло центровочне  $\varnothing 4,99$  ГОСТ 14952-75, свердло спіральне  $\varnothing 8,31$  із швидкорізальної сталі марки Р6М5 та зенківка  $\varnothing 8,5$  також виготовлена із швидкорізальної сталі Р6М5. Для контролю розмірів використовуємо такі вимірювальні інструменти як штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89 та зразки шорсткості.

## 2.7 Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання будемо проводити розрахунково-аналітичним методом операції 015 комплексна з ЧПК, для зовнішнього точіння поверхні M150x2-6g.

Вихідні дані:

- Діаметр поверхні – 150 мм;
- матеріал заготовки – сталь 20 з межею міцності  $\sigma_B=630$  МПа;
- матеріал ріжучої частини різця - твердий сплав Т15К6;
- заготовка – поковка штампована на КГШП;

- Устаткування – токарний верстат з ЧПК моделі SMEC SL-2500SY. Потужність електродвигуна головного приводу – 22 кВт. Точність позиціонування – 0,001 мм.
- Верстатний пристрій – 3-х кулачковий патрон.

В результаті попередніх розрахунків маємо наступні дані: глибина різання  $t = 2$  мм, величина подачі  $S = 0,25$  мм/об, швидкість різання  $V = 218$  м/хв, частота обертання шпинделя  $n = 450,8$  об/хв., тангенціальна складова сили різання  $P_z = 515,36$  Н, потужність різання  $N = 1,95$  кВт, основний час  $T_o = 15,87$  хв.

На інші переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [10, 11] та зводимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Режими різання на операцію 015 з ЧПК

Поверхня	Чорнова стадія		Напівчистова стадія		Чистова стадія			
	№	1,2,4,5,6,8,11,12 13,14,15,16	3,9,10	3,8,9	1,14,15,16	8,11	10	12,13
$t_{рез},$ мм		2	2,5	2	1,7	0,40	1,0	0,90
$S_o,$ мм/об		0,73		0,39		0,25	0,22	0,22
$V_T,$ м/хв		153		203		308	261	265
$n_\phi,$ хв <sup>-1</sup>		Зов.=336,6; внут.=396,9		Зов.= 409,2	Внут.= 482,5	450,8	526	487,2
N, кВт		10		4,9		-	-	-

Нумерація поверхонь вказана на рисунку 2.7.

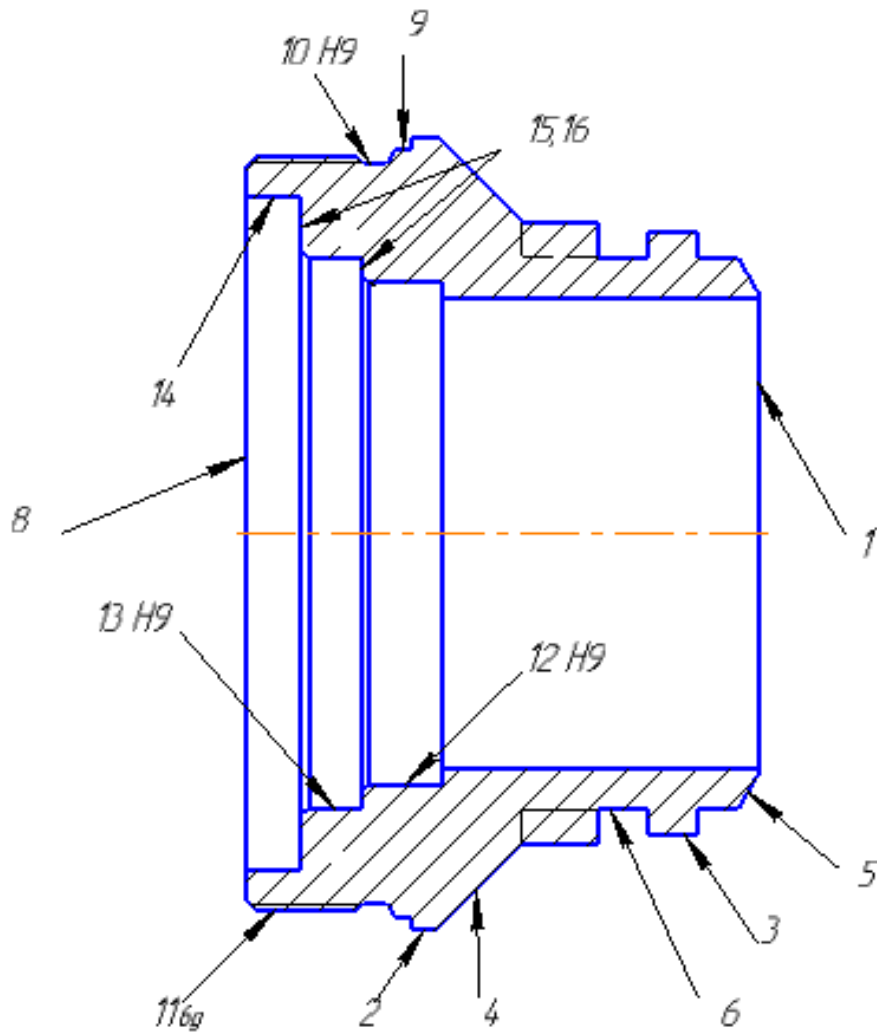


Рисунок 2.7 – Операція 015 (поверхні оброблення)

Операція 025 комплексна з ЧПК. Обробка 12 глухих отворів  $\varnothing 8,5$ , глибина свердління 10 мм.

Вихідні дані:

- Діаметр отворів – 8,5 мм;
- матеріал заготовки – сталь 20 з межею міцності  $\sigma_B=630$  МПа;
- матеріал свердла - швидкорізальна сталь P6M5;
- заготовка – поковка штампована на КГШП;
- Устаткування – верстат Leaderway V-650. Потужність електродвигуна головного приводу – 20 кВт.
- Верстатний пристрій – пневмоциліндр двусторонньої дії.

В результаті попередніх розрахунків маємо наступні дані: величина подачі  $S = 0,25$  мм/об, швидкість різання  $V = 34$  м/хв, частота обертання свердла  $n = 258,8$  об/хв., тангенціальна складова сили різання  $P_z = 2755$  Н, потужність різання  $N = 0,95$  кВт, основний час  $T_o = 5,52$  хв.

## 2.8 Технічне нормування технологічних операцій.

Розраховуємо штучно-калькуляційний час для операції 015:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N} \quad (2.1)$$

де  $T_{\text{шт}}$  – норма штучного часу, хв.;

$T_{\text{п.з.}}$  – підготовчо-заключний час, хв.;

$N$  – кількість деталей в партії, шт.

В свою чергу, штучний час визначають за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}} \quad (2.2)$$

де  $T_{\text{оп}}$  – оперативний час, хв.;

$T_{\text{дод}}$  – додатковий час, хв.

Оперативний час визначають за формулою :

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d \quad (2.3)$$

де  $T_0$  – основний час на обробку (пункт 2.7) = 15,87 хв;

$T_d$  – допоміжний час на обробку, хв;

Допоміжний час визначаємо за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}} \quad (2.4)$$

де  $T_{\text{вст}}$  – час на установку і зняття заготовки;

$T_{\text{кв}}$  - допоміжний час, пов'язаний з керуванням верстата;

$T_{\text{вим}}$  - час на вимірювання.

За попередніми розрахунками маємо  $T_d = 3,5$  хв

Розраховуємо оперативний час :

$$T_{\text{оп}} = 15,87 + 3,5 = 19,3 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 \quad (2.5)$$

$$T_{\text{дод}} = 19,3 \cdot 0,08 = 1,54 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = 19,3 + 1,54 = 20,84 \text{ хв}$$

Підготовчо -заключний час на цю операцію становить  $T_{\text{п-з}} = 17,35$  хв

$N = 38$  шт. – кількість деталей у партії

Тепер розрахуємо штучно-калькуляційний час для операції 015:

$$T_{\text{шк-к}} = 20,84 + \frac{17,35}{38} \approx 21,29 \text{ хв.}$$

Операція 025 свердлильна. Основний час на свердління 12 отворів  $\varnothing 8,5$  визначено у п. 2.7 та складає  $T_o = 5,52$  хв. Згідно з формулою (2.4) допоміжний час на операцію складає  $T_d = 1,3$  хв. Оперативний час за формулою (2.3) складає:

$$T_{\text{оп}} = 5,52 + 1,3 = 6,82 \text{ хв}$$

За формулою (2.5) додатковий час дорівнює:

$$T_{\text{дод}} = 6,82 \cdot 0,08 = 0,54 \text{ хв}$$

Таким чином, згідно з формулою (2.2) штучний час складає :

$$T_{\text{шт}} = 6,82 + 0,54 = 7,36 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час на операцію 025 дорівнює  $T_{\text{п-з}} = 5,35$  хв. Штучно-калькуляційний час в такому разі складатиме :

$$T_{\text{шк-к}} = 7,36 + \frac{5,35}{38} \approx 7,5 \text{ хв.}$$



## 2.9 Проектування верстатного пристрою для базування й закріплення заготовки

На комплексній з ЧПК операції 025 виконується свердління 12-ти глухих отворів  $d8,5^{+0,015}$  у деталі «Патрубок». Так, як дана деталь є однією з відповідальних складових шарового карун ДУ-100, тому для неї ставляться високі вимоги щодо точності розмірів, форми та розташування поверхонь. Для виконання даних вимог застосовується циліндрична оправка, так як її використання виключає похибку базування.

Для полегшення трудомісткості виконання даної операції рекомендую замість ручного затиску використовувати пневматичний.

Застосування пневмоциліндру двосторонньої дії має певний ряд переваг:

- збільшення продуктивності роботи;
- зменшення допоміжного часу;
- зменшення трудомісткості роботи;
- швидкість дії та простота в управлінні;
- забезпечення необхідних зусиль затиску;

На даній операції формуються два типи розміру: лінійний ( $L = 10 \pm 0,2$  мм), і діаметральний ( $\varnothing 8,5^{+0,015}$ ) на діаметрі 123 мм (12 отворів). Із усіх поверхонь, що утворюють заготовку, на базову поверхню може претендувати циліндричний отвір  $\varnothing 94H10$ . Вона досить чисто оброблена, шорсткість її поверхонь  $Ra = 3,2$  мкм. Крім того, застосування цієї поверхні як базової, не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

З урахуванням сказаного віддамо перевагу схемі базування наведеній на рисунку 2.6.

Циліндрична поверхня  $\varnothing 94H10$ , будучи прийнятою в якості базової, позбавляє заготовку двох ступенів свободи ( поступального переміщення вздовж осі X та Y) тобто являються подвійною опорною базою . Вона забезпечує паралельність осі оброблюваних отворів до осі центрального отвору . У якості установчої бази обираємо торець деталі  $\varnothing 110/120$ , вона позбавляє заготовку трьох

ступенів свободи ( поступального переміщення вздовж осі Z та обертань навколо осей X та Y).

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил та поля зрівноважуючи сил будуюмо графічну модель збурюючих сил (рисунок 2.8) взаємозв'язку з прийнятою схемою базування.

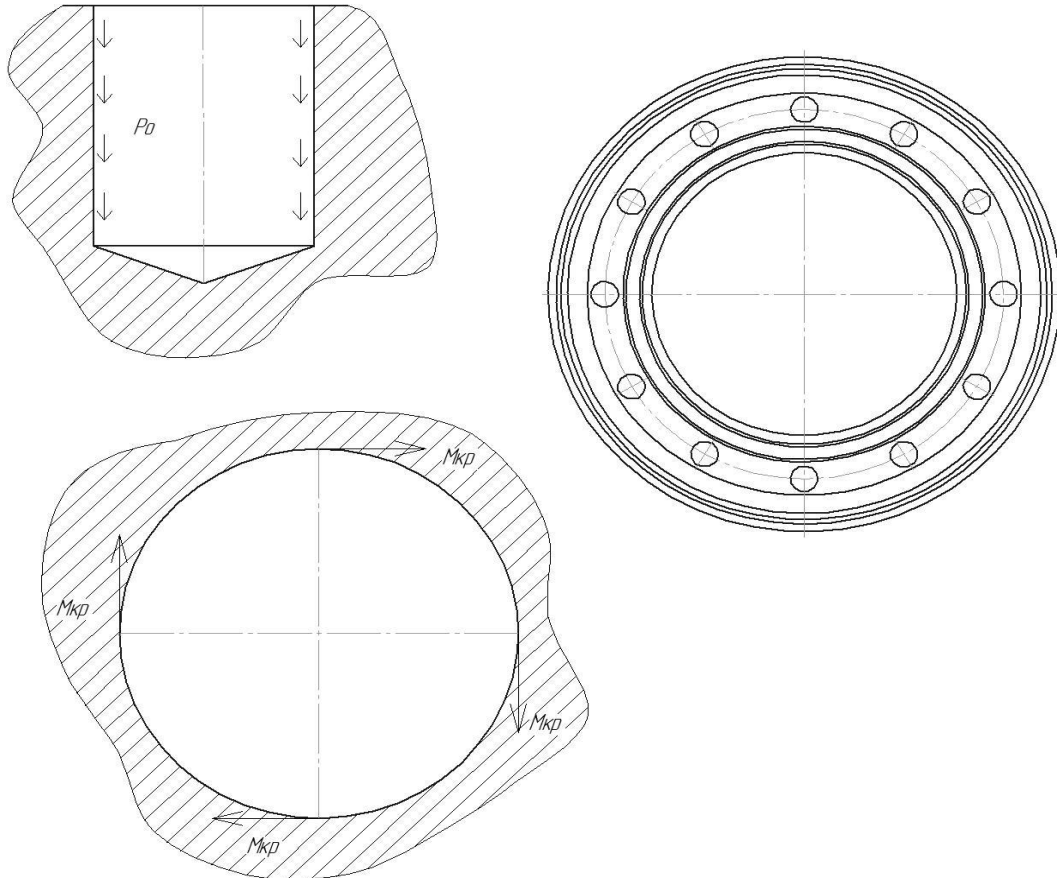


Рисунок 2.8 – Структура поля збурювальних сил

На рисунку 2.8 можемо побачити, що складова  $P_x'$  поля збурюючих сил врівноважується реакцією  $R_x'$  ( $R_x' = P_x'$ ). Інші складові поля збурюючих сил не врівноважені та потребують прикладання додаткових сил закріплення. При даній схемі базування доцільно застосовувати пневмоциліндр, який створює поле зрівноважувальних сил, що й представлено на рисунку 2.9.

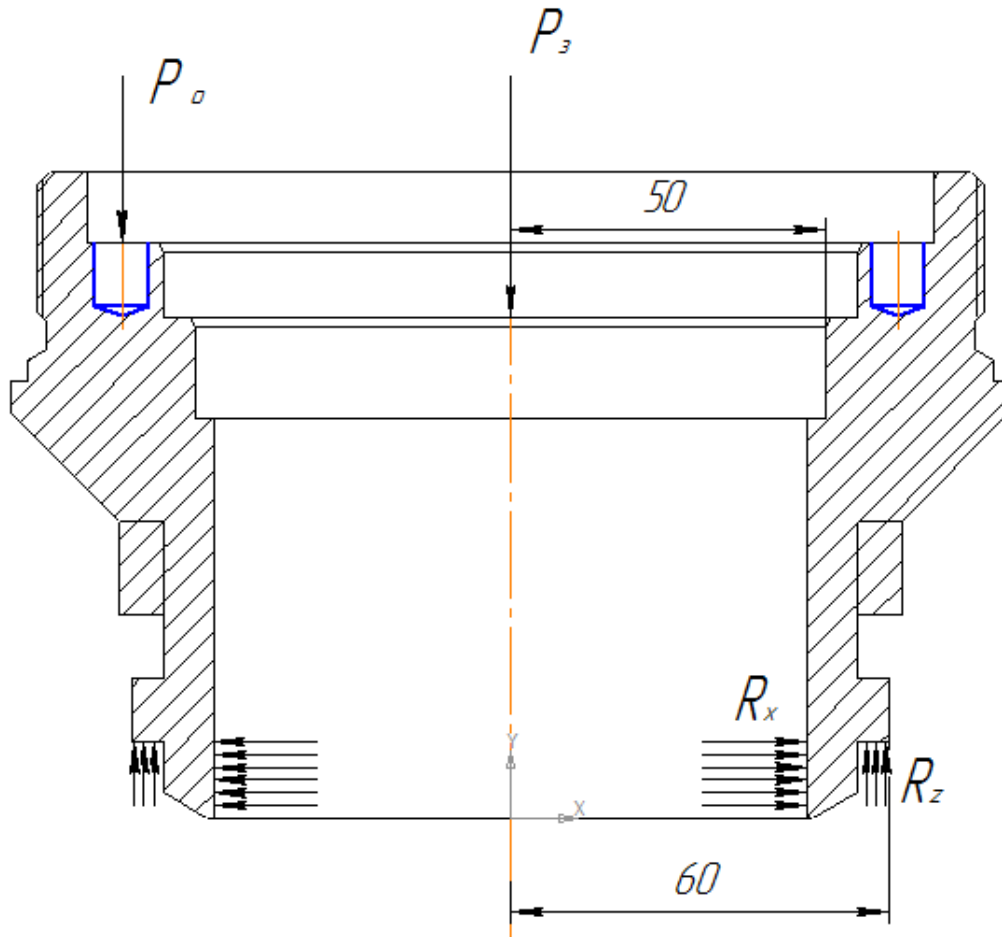


Рисунок 2.9 – Структура поля зрівноважувальних сил

З умови не провороту заготовки [2, с. 83] для циліндричної заготовки діаметром бази  $D$  встановленої в оправці та навантаженої крутним моментом сила закріплення  $P_3$  визначається за формулою:

$$P_3 = \frac{K \cdot M_{кр}}{R \cdot f}$$

Визначаю крутящий момент, діючий під час свердлування (по [6], с.277) по формулі:

$$M_{кр} = 10 C_m D^q S^y K_p$$

де,  $C_m = 0,09$ - коефіцієнт, що враховує умови обробки ([6, табл. 32]);

$D = 8,5$  мм – діаметр свердла;

$q=1,0$ - показник ступеня при  $D$ ;

$S=0,75$ - оборотна подача ;

$y=0,8$ - показник ступеня при  $S$  .

Коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу  $K_p$ , визначають по формулі ([6], табл. 9, с.264):

$$K_{Mp} = \left( \frac{\sigma_b}{750} \right)^n$$

де,  $\sigma_b=710$  МПа – межа міцності оброблюваного матеріалу;

$n=0,75$  – показник степені .

$$K_{Mp} = \left( \frac{710}{750} \right)^{0,75} = 0,96$$

$$\text{А момент: } M_{кр} = 10 \cdot 0,09 \cdot 8,31^{1,0} \cdot 4,16^{0,9} \cdot 0,75^{0,8} \cdot 0,90 = 25,72 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При затиску момент сили тертя, що виникає між заготовкою й оправкою, повинен бути більше моменту кручення при обробці:

$$M_{тр} = M_{кр} \cdot K$$

де,  $M_{тр}$  – момент тертя,

$K$  – коефіцієнт запасу по формулі .

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

де,  $K_0=1,5$  – гарантований коефіцієнт запасу сил затиску;

$K_1 = 1,0$  – стан технологічної бази;

$K_2 = 1,15$  – збільшення сили резання від прогресуючого затуплення інструмента;

$K_3 = 1,0$  – ударне навантаження на РІ;

$K_4 = 1,0$  – стабільність силового приводу;

$K_5 = 1,0$  зручність розташування рукояток у ручних затискних механізмах пристосуваннях;

$K_6 = 1,5$  – наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку.

Тоді:  $K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,59$

Під час розрахунку  $M_{тр} = 66,61$

Приведений радіус точки прикладання сили визначається за формулою:

$$R = \frac{1}{3} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 \cdot d^2},$$

де  $D$  – більший діаметр поверхні заготовки при закріпленні,  $D = 0,12$  м

$d$  – менший діаметр поверхні заготовки при закріпленні,  $d = 0,11$  м

$$R = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,12^3 - 0,11^3}{0,12^2 \cdot 0,11^2} = 0,058 \text{ м}$$

Підставивши вибрані дані в формулу, визначаємо силу закріплення:

$$P_3 = \frac{2,59 \cdot 25,72}{0,058 \cdot 0,16} = 7178,1 \text{ Н.}$$

Отже, необхідна сила затиску  $P_3 = 7178,1$  Н.

*Обґрунтування вибору привода.*

Для швидкого затиску та розтиску доцільно використовувати пневмоциліндр двосторонньої дії. Дійсна сила на штоці подвійної дії при подачі повітря в штокову порожнину розраховується за формулою:

$$P_D = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{II}^2 - d_{III}^2) \cdot \rho \cdot \eta$$

де,  $D$  – діаметр пневмоциліндру, см;

$d_{III}$  – діаметр штоку, приймаємо  $d_{III} = 40$  мм;

$p$  – розрахунковий тиск,  $p=0,4$  МПа;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії,  $\eta = 0,9$ .

Діаметр пневмоциліндру , що забезпечує необхідну силу затиску заготовки визначається за формулою:

$$D_{II} = \sqrt{d_{III}^2 + \frac{4 \cdot P_3}{\pi \cdot p \cdot \eta}},$$

$$D_{II} = \sqrt{40^2 + \frac{4 \cdot 7178.1}{3.14 \cdot 0.4 \cdot 0.9}} = 164_{мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр стаціонарного поршневого пневмоциліндру по [2] с.91, таблиця 17:  $D_{II}=200$  мм.

Дійсна сила затиску заготовки на штоці пневмоциліндру :

$$P_D = \frac{3,14}{4} \cdot (200^2 - 40^2) \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 10851,84 \text{ Н.}$$

Дана сила перевищує необхідну силу затиску заготовки, відповідно, пристосування забезпечить фіксоване положення деталі при обробці.

*Розрахунок пристосування на точність.*

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою:

$$\varepsilon_{пр} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{II}^2 + \varepsilon_{II}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{поз}^2}$$

де  $T=500$  мкм – найбільш жорсткий допуск розташування або розміру (з тих, які одержують на даній операції , а саме допуск на позиціонування отворів);

$K_T = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;

$\varepsilon_{\delta} = 212$  мкм – похибка базування;

$\varepsilon_3 = 0$  мкм – похибка закріплення ;

$\varepsilon_y = 20$  мкм – похибка установки пристрою на верстаті;

$\varepsilon_n = 0$  – похибка перекосу інструмента ( відсутні постійні або змінні напрямні втулки);

$\varepsilon_{зн} = 0$  – похибка зношування ( при рівномірному зношуванні робочої поверхні оправки)

$K_{T2} = 0,6$  – коефіцієнт , що враховує можливість появи похибки обробки ;

$\omega = 8$  мкм – значення допуску для 6 квалітету середньої економічної точності фрезерування пазу для розміру 3,6 мм;

$\varepsilon_{noz} = 5$  мкм – похибка позиціювання ( відповідно до паспорта верстата).

Тоді розрахункове значення похибки пристрою буде дорівнювати :

$$\varepsilon_{np} = 500 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 212)^2 + 0^2 + 20^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 8)^2 + 5^2} = 330(\text{мкм})$$

Опис та принцип дії пристрою (специфікація наведена у додатку В).

Пристрій в зборці повинно відповідати технічним вимогам креслення загального виду та забезпечувати якісну обробку заготовки за заданими розмірами.

Всі деталі й вузли пристрою піддати візуальному контролю, а виявлені дефекти усунути.

Експлуатація пристрою.

1. Встановити і закріпити пристрій на верстаті з урахуванням нульової точки верстата.
2. Підготувати базові поверхні до установки заготовки.
3. Встановити заготовку на плиту.
4. Поворотом рукоятки пневмороздільника поз. 1 провести закріплення заготовки.
5. Обробити заготовку.
6. Поворотом рукоятки пневмороздільника поз. 1 в зворотну сторону відкріпити заготовку.

7. Пристосування зберігати на дерев'яній основі. Вплив атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимо .

З пневмомережі повітря під тиском подається в нижню порожнину поршня, переміщаючи поршень вертикально вгору. Таким чином здійснюється переміщення прихвату і розтиск заготовки. При подачі тиску в верхню порожнину поршня здійснюється вертикальне переміщення вниз і відбувається зажим заготовки. Геометричність з'єднань забезпечують манжети-ущільнювачі. Оброблювана деталь служить також упором для переміщення пневмоциліндра вертикально вниз. Упором для переміщення вертикально вгору служить корпус , що обмежує хід поршня. Для транспортування пристрою призначені рим-болти, які кріпляться в кришці пристрою.

## **2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою**

Згідно з завданням, необхідно спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) для контролю радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 153(-0,043;-0,143)$  патрубка щодо його центрального отвору  $\varnothing 110H9$  з допуском 0,1 мм.

Річна програма випуску визначена в 5000 деталей, що відповідає дрібносерійному типу виробництва. При заданому періоді виробництва виробів в 5 років і при суцільному контролі, проєктований КВП повинен здійснити 25000 робочих циклів для перевірки запланованого обсягу випуску.

Відповідно до завдання контроль радіального биття деталі буде здійснюватися після остаточної обробки заготовки на робочому місці контролера ВТК.

На цей час контроль радіального биття поверхонь «патрубка» здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема, токарного самоцентруючого патрону і магнітної індикаторної стійки безпосередньо на токарному верстаті. Ні метод, ні засіб не можна визнати



прийнятними, оскільки перевірка проводиться із залученням верстатного устаткування, розташованому на механічній дільниці далеко від ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу обробки і якості виробів. Крім того, великий вплив на якість контролю в даному випадку надають суб'єктивні особливості оператора, у зв'язку з чим похибка контролю може досягати 25% [1].

В цілому контроль радіального биття «патрубка» не викликає будь-яких труднощів, оскільки проставлення відхилень розташування поверхонь є вірним і є досить розвинені і точні базові поверхні. Є можливість дотриматися принципу суміщення баз.

Допуск на радіальне биття заданий в межах 0,1 мм, що відповідає найближчому стандартному значенню допуску 0,08 мм та 8-му ступеню точності згідно з [2].

Продукція, що випускається за своїми техніко-економічними показниками повинна відповідати сучасним вимогам діючих стандартів. Таку продукцію відносять до 1-ї категорії якості. Обмежимося 3-й категорією контролю [3]. Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймаємо нормальний режим контролю згідно з ГОСТ 20736-75. Встановимо наступні показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [3].

З урахуванням цього при випуску запланованого обсягу продукції необхідно перевірити радіальне биття 25000 деталей. Виходячи з цього, спроектуємо нерозбірне спеціальне пристосування (НСП).

Радіальне биття визначається сумарним відхиленням профілю розглянутого перетину від круглості й відхиленням його центру щодо базової осі і чисельно дорівнює різниці  $\Delta$  найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярною до базової осі.

Виходячи з вищевказаного визначення, під час контролю радіального биття, останнє визначатимемо за зовнішньою циліндричною поверхнею діаметром 153 мм не ближче 1 мм до кожного її краю.

За контрольовану поверхню беремо поверхню циліндричного отвору  $\varnothing 153(-0,043;-0,143)$ . Визначимо кількісні параметри точності цієї поверхні.

Поверхня  $\varnothing 153$  повинна бути виконана в номінальний розмір 153 мм. Допуск на розмір поверхні  $T_{\varnothing 153} = 0,1$  мм відповідає 9 – 10 квалітетам точності: верхнє відхилення  $es = -0,043$  мм, нижнє відхилення  $ei = -0,143$  мм.

Точність форми контрольованої поверхні кресленням деталі не регламентовано. Тому, як точність форми, розглянемо, характерне для короткої циліндричної поверхні її відхилення від круглості. Так як допуск на точність форми поверхні не вказано, то ми беремо його в межах допуску на відповідний діаметральний розмір. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск круглості становить 30% від допуску на діаметр:

$$T_{\bigcirc} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 153} = 0,3 \cdot 0,1 = 0,03 \text{ мм,}$$

що відповідає стандартному значенню та 8-му ступеню точності згідно з [2].

Точність взаємного розташування для контрольованої поверхні регламентована як допуск радіального биття 0,1 мм відносно центрального отвору  $\varnothing 110H9$  (найближче стандартне значення допуску 0,08 мм відповідає 8-му ступеню точності).

Шорсткість контрольованої поверхні «патрубка» регламентована кресленням деталі та становить 1,6 мкм за критерієм Ra.

Контроль заданого параметра здійснюється після остаточної механічної обробки деталі на столі ВТК. Деталь за своїми конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технологічними – до класу фланців. Маса деталі – 4,4 кг. Матеріал – низьковуглецева конструкційна сталь 20 ГОСТ 1080-88, призначена для виготовлення металоконструкцій та виробів. Що працюють за температури від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+450^{\circ}\text{C}$ .

Сталь 20 має середній вміст вуглецю – від 0,17 до 0,24%, кремнію – 0,17–0,37%, марганцю – 0,35–0,65%, хрому – до 0,25%, міді – до 0,3%, нікелю – до 0,3%. Крім цих елементів у розглянутій сталі може бути незначний вміст сірки та фосфору.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на роль основної базової поверхні може лише поверхня отвору  $\varnothing 110H9$ , щодо якої і заданий контроль радіального биття. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та технологічної баз, що визначають контроль заданого параметра. Як допоміжну базову поверхню пропоную використовувати зовнішній торець деталі  $\varnothing M150$ . Базування за цими поверхнями дозволить забезпечити стійке положення виробу під час вимірювання радіального биття: зазначені поверхні є простими за своєю формою, досить розвинутими та точними, мають високу чистоту. Визначимо кількісно параметри точності цих поверхонь.

Циліндричний отвір  $\varnothing 110H9$  виконаний за 9 квалітетом точності й допуском 0,087 мм. Номінальний розмір – 110 мм. Верхнє відхилення  $ES = +0,087$  мм; нижнє відхилення  $EI = 0$  мм.

Торцева поверхня  $M150$  виконана в розмір 102 мм згідно з 14 квалітетом точності. Цей розмір визначає відстань між крайніми торцями деталі. Номінальний розмір – 102 мм, допуск  $T_{102h14} = 0,87$  мм з розташуванням відхилень «в тіло деталі». Верхнє відхилення  $es = 0$  мм, нижнє відхилення  $ei = -0,87$  мм [2].

Точність форми базових поверхонь кресленням деталі не регламентовано. Характерним для циліндричного отвору є допуск циліндричності або круглості. Визначимо його величину для умов нормальної відносної геометричної точності, як 30% від допуску на діаметр отвору:

$$T_{\beta} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 110H9} = 0,3 \cdot 0,087 = 0,0261 \text{ мм,}$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,025 мм та 8-му ступеню точності [2].

Для плоскої поверхні торця М150 характерним є допуск площинності. Визначимо його величину для умов нормальної відносної геометричної точності, як 60% від допуску на розмір 102h14:

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{102h14} = 0,6 \cdot 0,87 = 0,522 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,4 мм та 14-му ступеню точності [2].

Точність взаємного розташування базових поверхонь також не регламентовано кресленням деталі. Визначимо допуск радіального биття для циліндричного отвору  $\varnothing 110H9$  та допуск торцевого биття для торця М150 за аналогією до визначення допусків форми зазначених поверхонь.

Так, стандартна величина допуску радіального биття циліндричного отвору  $\varnothing 110H9$  становитиме 0,025 мм, що відповідає 6-му ступеню точності [2].

Стандартна величина допуску торцевого биття торця М150 становитиме 0,4 мм, що відповідає 12-му ступеню точності [2].

Шорсткість циліндричного отвору  $\varnothing 110H9$  відповідає 1,6 мкм за критерієм Ra. Шорсткість торця М150 відповідає 6,3 мкм за критерієм Ra.

Аналізуючи параметри точності базових поверхонь приходимо до висновку про придатність розглянутих поверхонь на роль базових.

На рисунку 2.12 представлена схема базування контрольованої деталі. З рисунка 2.12 видно, що отвір  $\varnothing 110H9$  з встановленою в нього розтискною оправкою реалізує подвійну опорну базу, яка позбавляє деталь двох ступенів вільності: двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y при вертикальному розташуванні центральної осі деталі. Нижній торець деталі М150 грає роль установчої бази, яка накладає на деталь ще три зв'язки, позбавляючи виріб поступального переміщення уздовж осі Z та обертання навколо осі X та осі Y.

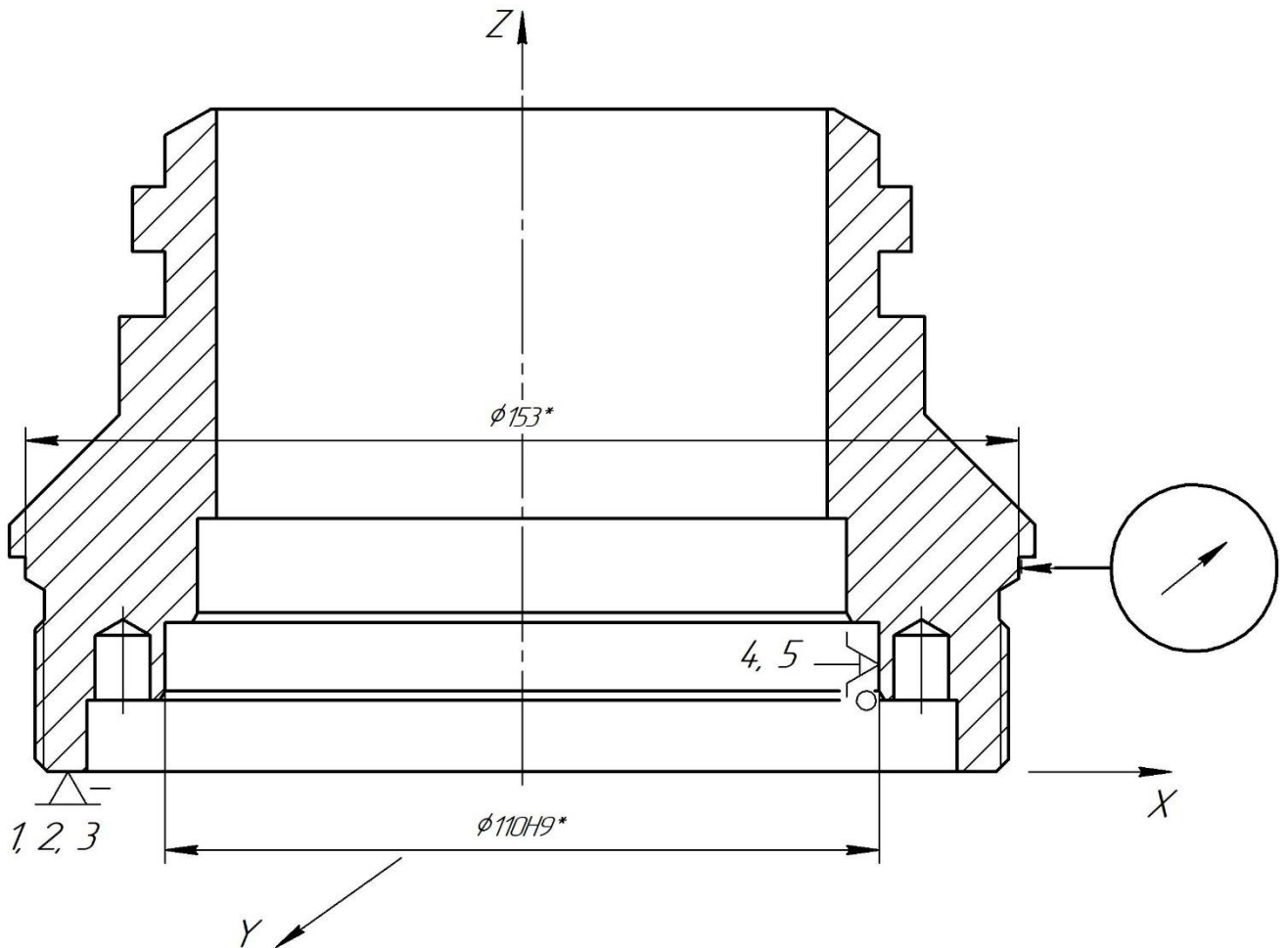


Рисунок 2.10 – Схема контролю й базування деталі

Оскільки обрана схема базування дозволяє дотриматися принципу суміщення баз для контрольованого параметра, то похибка базування  $\varepsilon_{\delta} = 0$  мм.

Під час вимірювання радіального биття поверхні «патрубка», вісь деталі буде розташовано вертикально, у зв'язку з чим сили гравітації будуть притискати деталь до опорних поверхонь КВП. Під час установки виробу буде використовуватися мембранний патрон. Останній буде забезпечувати незначне зусилля розтискання, що дозволить вибрати гарантований зазор між його установчими елементами та отвором у виробі. В результаті, похибка закріплення  $\varepsilon_3$  виробу у радіальному напрямку дорівнюватиме нулю.

Контроль заданого параметра буде проводитися безпосередньо на столі ВТК, розташованому поруч з механічною дільницею: можна зробити висновки про не зовсім сприятливі умови експлуатації КВП. Температура в робочій зоні –  $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  (ГОСТ 12.01.005-88). Відносна вологість повітря –  $\varphi_n = 80\%$ . Атмосферний тиск –  $P_{\text{ат}} = 86\text{--}106$  кПа; швидкість руху повітря –

$v_B \leq 0,5$  м/с. Частота вібрацій, викликана верстатами  $f = 20\text{--}30$  Гц. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітленість. Тому поряд із загальним необхідно передбачити місцеве освітлення з  $E_{\phi} = 1500$  люкс [4].

З переліку функцій, які реалізуються в КВП, складемо набір функцій, які необхідно здійснити, щоб стала можливою операція контролю:

- 1) установка (зняття) деталі;
- 2) базування;
- 3) закріплення;
- 4) налагодження;
- 5) об'єднання;
- 6) прийом інформації;
- 7) передача і перетворення інформації;
- 8) видача (відображення) результатів вимірювання;
- 9) підведення і (відведення) засобу вимірювання.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому оскільки його простіше зробити при контролі радіального биття контрольованої поверхні «патрубка». При цьому немає необхідності в перерахунку контрольованого параметра і отримується точність, цілком достатня для перевірки допуску.

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі є досить високими (сталь 20) і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому певне зусилля вимірювання сприятиме видалення бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми з радіусом сфери не менше 5 мм.

З огляду на значну твердість контрольованої поверхні (НВ 200), геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 500 сН (5

Н). В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}} = 0,43 \cdot 0,81 \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,595 \text{ мкм.}$$

де  $\Delta_{зус}$  – величина похибки вимірювання що виникає внаслідок контактної деформації контрольованої поверхні;

$K$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу вимірювального наконечника. За умови використання твердого сплаву маємо  $K = 0,81$ ;

$P_{зус}$  – зусилля вимірювання, Н;

$r$  – радіус сфери наконечника, мм.

Деталь контролюється при повороті на  $360^\circ$ , що характерно для динамічного методу контролю.

Питання про розташування вимірюваної деталі під час контролю контролю було вирішено вище (див. рисунок 2.12), де обґрунтовано вертикальне розташування деталі.

З двох можливих методів – абсолютного й відносного – кращий другий (відносний), так як він надає більш широкі можливості для різних конструктивних рішень, дозволяє здійснити більш точні вимірювання.

Налаштування КВП буде проводитися по контрольованим поверхням без використання еталонних виробів.

Виходячи зі структури потоку функцій, що реалізуються КВП, встановлюємо час на контрольну операцію 2,0 хв. Така тривалість контролю не вимагає високого рівня механізації, так як може бути здійснена вручну на простому вимірювальному пристрої.

КВП повинен мати шкальний відліковий пристрій, який забезпечує достатню точність відліку без надмірного напруження зору.

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення зумовлене значною мірою контактним методом контролю. На його

користь говорить великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічну апробацію на точність і надійність роботи на робочих місцях контролерів ВТК.

Вибір засобу вимірювання (ЗВ) почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних характеристик та характеристик надійності, якими має володіти ЗВ.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП визначається як частина допуску  $IT$  контрольованого параметра, зокрема, радіального биття контрольованої поверхні за формулою

$$[\delta_{вим}] = K \cdot IT,$$

де  $K$  – залежить від квалітету точності чи ступеня точності контрольованого параметра та береться у межах 0,2–0,35.

Для 8-го ступеня точності беремо  $K = 0,3$  .

Тож для радіального биття маємо

$$[\delta_{вим}] = 0,3 \cdot 100 = 30 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 [1] беремо  $[\delta_{вим}] = 30 \text{ мкм.}$

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальну похибку) згідно з [3]:

$$[\Delta_{ін}] = 0,7 \cdot [\delta_{вим}] = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки ЗВ розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ:

$$[c] = [\Delta_{ін}] = 21 \text{ мкм.}$$



Інтервал поділки шкали ( $a$ ) беремо 1 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ. Тут необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і перш за все освітленість.

Межа вимірювання за шкалою ( $A$ ) повинна перевищувати допуск  $IT$ , щоб зняття показань не викликало труднощів [3]:

$$[A] = 4 \cdot IT = 4 \cdot 100 = 400 \text{ мкм} = 0,4 \text{ мм.}$$

Межа вимірювань ЗВ (діапазон вимірювань) визначається умовами його експлуатації. Беремо  $B = 1,0$  мм.

Вимірювальне зусилля  $P_{зус}$  обумовлюється характером контрольованих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля прийнято в п. 6 цієї роботи. Оскільки обмеження на його величину відсутні, беремо  $P_{зус} = 500$  сН.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлено величиною  $\Delta P_{зус} = 100$  сН.

Основним нормативним показником надійності ЗВ є напрацювання  $t(P)$  до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи  $P$ . Відповідно до [3] обговоримо кількість циклів вимірювань, що забезпечує задану кількість контрольних операцій:

$$t(P) = 5000 \cdot 4 = 25000 \text{ циклів.}$$

Задамося ймовірністю безвідмовної роботи КВП  $P = 0,85$ , виходячи з можливостей ЗВ, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування.

Згідно ustalеним цінам на ЗВ, встановимо витрати на придбання ЗВ у розмірі  $C = 3000$  грн.

Після того, як стали відомі допустимі значення з метрологічних, експлуатаційних характеристик та характеристик надійності, можна приступити до пошуку ЗВ. Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимими:

$$\Delta_{in} \leq [ \Delta_{in} ]; \quad c \leq [ c ]; \quad a \geq [ a ]; \quad P_{зyc} \leq [ P_{зyc} ];$$

$$A \geq [ A ]; \quad B \geq [ B ]; \quad \Delta P \leq [ \Delta P ]; \quad t(P) \geq [ t(P) ];$$

$$P \geq [ P ]; \quad Ц \leq [ Ц ].$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важливо-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю радіального биття буде використання індикаторної головки Tesa Dial Ø82 01410910, що має такі метрологічні характеристики:

$$\Delta_{in} = 0,015 \text{ мм}; \quad c = 0,01 \text{ мм}; \quad a = 2,2 \text{ мм}; \quad A = 1,0 \text{ мм};$$

$$B = 10,0 \text{ мм}; \quad P_{зyc} = 140 \text{ сН}; \quad \Delta P_{зyc} = 40 \text{ сН}; \quad t(P) = 500000;$$

$$P = 0,9; \quad Ц = 2400 \text{ грн.}$$

Зіставивши ці значення з допустимими, приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\Delta_{in} = 0,015 \text{ мм} < 0,021 \text{ мм} = [ \Delta_{in} ]; \quad c = 0,01 \text{ мм} < 0,021 \text{ мм} = [ c ];$$

$$A = 1,0 \text{ мм} > 0,4 \text{ мм} = [ A ]; \quad B = 10,0 \text{ мм} > 1,0 \text{ мм} = [ B ];$$

$$a = 2,2 \text{ мм} > 1,0 \text{ мм} = [ a ];$$

$$t(P) = 500000 > 25000 = [ t(P) ];$$

$$P_{зус} = 140 \text{ сН} < 500 \text{ сН} = [ P_{зус} ];$$

$$\Delta P_{зус} = 40 \text{ сН} < 100 \text{ сН} = [ \Delta P_{зус} ];$$

$$P = 0,9 > 0,85 = [ P ];$$

$$Ц = 2400 \text{ грн} < 3000 \text{ грн} = [ Ц ].$$

Інші індикаторні головки мають надлишкову точність та меншу надійність. Тому остаточно вибираємо індикатор Tesa Dial Ø82 01410910.

Габаритні й приєднувальні розміри  $l \times \varnothing \times b = 121 \times 82 \times 28,2$  мм, маса – 0,25 кг.

На схемі необхідно навести в спрощеному вигляді основні механізми (функціональні вузли) КВП. Вона також повинна давати поняття про характер переміщення, граничні положення й види зв'язків, див. рисунок 2.13.

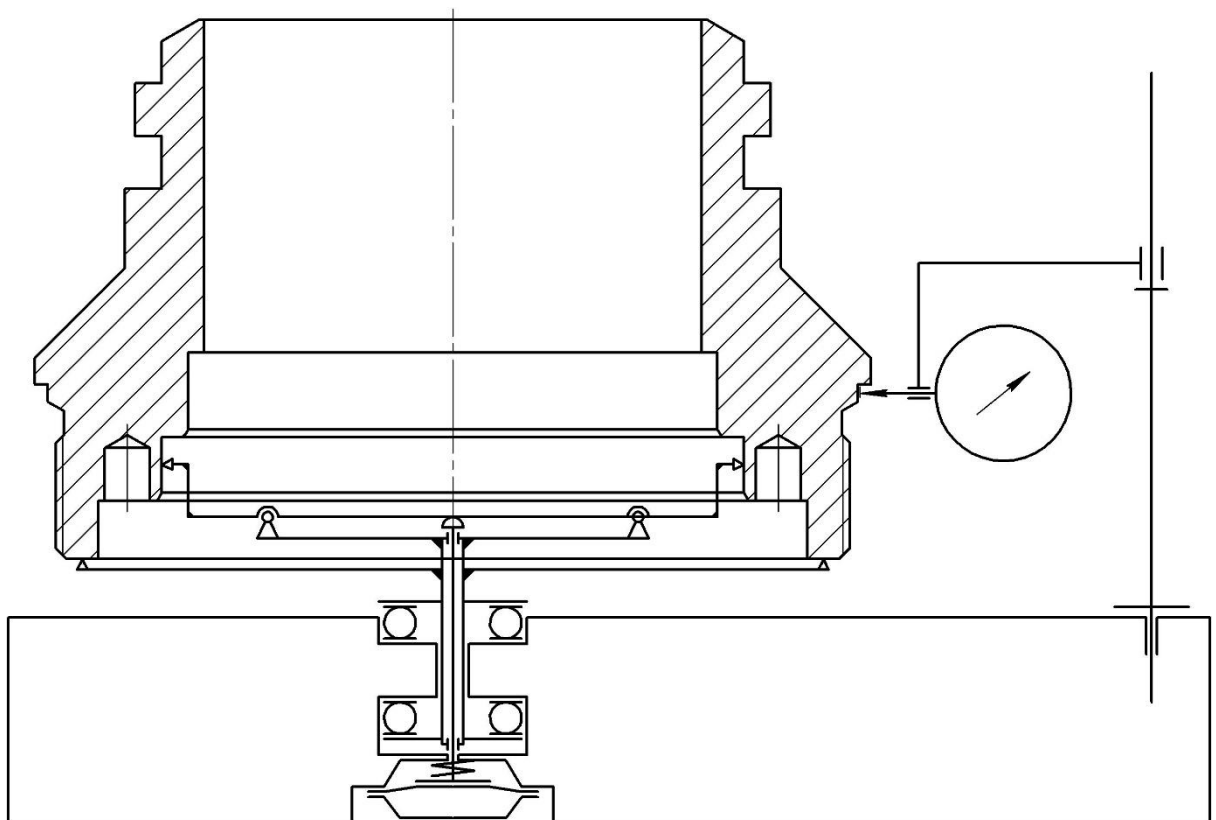


Рисунок 2.11 – Кінематична схема КВП

Рішення про компоувальну схему є результатом обробки інформації, отриманої на різних етапах проектування КВП. Так, узагальнюючи вищенаведені дані приходимо до висновку, що найбільш зручна для конкретних умов контролю вертикальна схема компоування, представлена рисунку 2.14. Вона забезпечує компактність і жорсткість пристосування. Досягається зручність установки деталі на вимірювальну позицію. Забезпечується найкоротший шлях проходження сигналу від точки вимірювання до шкали – запорука простоти і точності. Крім того, дана схема компоування дозволяє зменшити витрату металу і надати конструкції технічно доцільний, а значить естетичний вигляд.

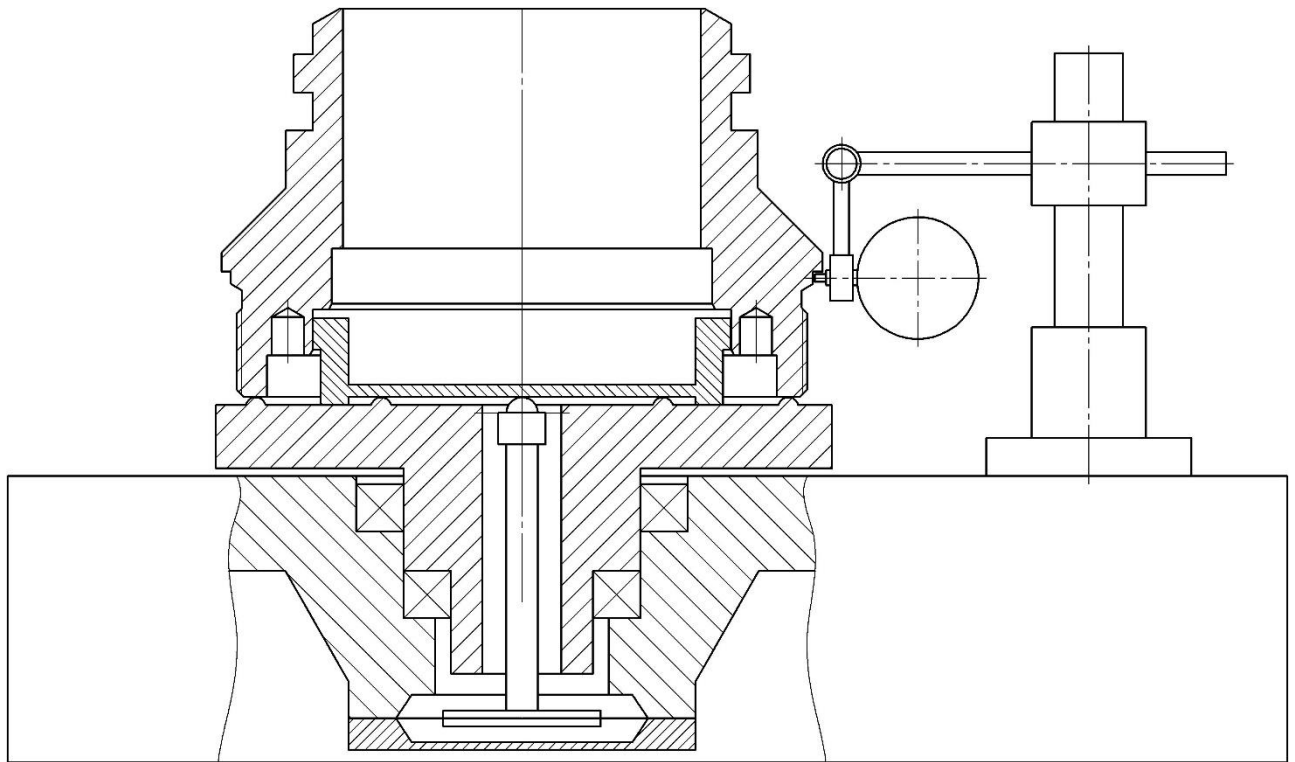


Рисунок 2.12 – Компоувальна схема КВП

Під час контролю радіального биття контрольованої поверхні «патрубка» сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_g^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{in}^2 + \Delta_l^2 + \Delta_{зус}^2},$$

де  $\varepsilon$  – похибка положення контрольованої деталі в пристосуванні. Вона визначається за формулою

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2},$$

$\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування. За умови використання розтискної оправки беремо  $\varepsilon_{\delta} = 0$  (див. п. 5.7);

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення. Беремо  $\varepsilon_3 = 0$  (див. п. 5.8);

$\varepsilon_{np}$  – неточність виготовлення елементів КВП, що беруть участь у формуванні розмірного ланцюга. В нашому випадку на контроль заданих параметрів безпосередньо буде впливати неточність виготовлення підшипників ковзання, що використовуються в механізмі обертання деталі. Останні за умови використання селективного складання можна виготовляти з точністю 5 мкм. Беремо  $\varepsilon_{np} = 5$  мкм.

$$\varepsilon_{рад} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2} = \sqrt{0 + 0 + 5^2} = 5,0 \text{ мкм.}$$

$\Delta_{\delta}$  – похибка передаточного пристрою. За умови відсутності в конструкції КВП передаточного пристрою беремо  $\Delta_{\delta} = 0$ ;

$\Delta_e$  – похибка виготовлення еталонної деталі. Оскільки для вимірювання радіального биття еталонна деталь не потрібна, беремо  $\Delta_e = 0$ ;

$\Delta_{ін}$  – похибка вибраного засобу вимірювання,  $\Delta_{ін} = 15$  мкм;

$\Delta_{зус}$  – похибка, викликана вимірювальним зусиллям.

За умови використання індикаторної головки з твердосплавним вимірювальним наконечником радіусом 5 мм та зусиллям вимірювання 1,4 Н маємо

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}} = 0,43 \cdot 0,81 \sqrt[3]{\frac{1,4^2}{5}} = 0,255 \text{ мкм.}$$

Беремо  $\Delta_{зус} = 0,255$  мкм.

$\Delta_t$  – похибка, викликана змінами температури навколишнього середовища. Оскільки контроль радіального биття здійснюється після вирівнювання температур контрольованого виробу та КВП, беремо  $\Delta_t = 0$ .

В результаті маємо

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 15^2 + 0,255^2 + 0^2} = 15,813 \text{ мкм} < 30 \text{ мкм} = [\delta_{вим}],$$

а, значить, спроектований КВП для контролю радіального биття є працездатним.

*Будова та принцип дії КВП.* Спроектований пристрій складається з корпусу 14, в центральній частині якого за допомогою чотирьох гвинтів 27 закріплено фланець 17. В останньому, в свою чергу, в двох кулькових упорних підшипниках 31 і 32, що підтискаються двома гайками 10, встановлений шпindel 18, на верхньому торці якого за допомогою шести гвинтів 25 закріплений корпус 13 з трьома опорами 2 і мембраною 1, що утворюють конструкцію мембранного патрона. Для передачі мембрані 1 осьової деформації, що призводить до розтискання її кулачків в радіальному напрямку, з нижнього торця мембрани 1 підведена сферична опора штока 4 пневмокамери пристрою. Остання складається з корпусу, утвореного нижньою частиною корпусу 14 пристрою, кришки 15, діафрагми 11, нижній 19 і верхній 20 шайб із закріпленням на них штоком 4, манжети 30 і поворотної пружини 33. Праворуч від фланця 17 на корпусі 14 за допомогою чотирьох гвинтів 26 закріплено індикаторну стійку 3 з індикатором 29.

Контрольована деталь посадковим отвором  $\varnothing 110H9$  встановлюється на кулачки мембрани 1 до упору нижнім торцем деталі M150 на три сферичні опори 2. Після подачі повітря в нижню порожнину пневмокамери, шток 4 останньої переміщується вгору, натискаючи своєю сферичною кінцівкою на нижній торець мембрани 1, що призводить до її осьової деформації і розтискання кулачків в радіальному напрямку. В результаті розтискання кулачків мембрани 1 відбувається закріплення контрольованої деталі і вісь патрона самовстановлюється щодо осі посадочного отвору  $\varnothing 110H9$  виробу. Потім до контрольованих поверхонь виробу

підводять вимірвальний наконечник індикатору 29, шкалу якого виставляють на «нуль». Після повороту деталі на 360° за різницею найбільшого й найменшого відхилень стрілки індикатора 29 судять про величину радіального биття контрольованої поверхні виробу.

Після завершення операції контролю розкріплення деталі відбувається в зворотній послідовності. Спочатку від контрольованих поверхонь деталі поворотом на 90° індикаторної стійки 3 відводять індикатор 29. Потім припиняється подача повітря до пневмокамери і шток 4 під впливом зворотної пружини 33 опускається вниз, припиняючи тиск на мембрану 1. В результаті вирівнювання мембрани 1 в горизонтальній площині, кулачки останньої стискаються і звільняють від закріплення контрольовану деталь.

## **2.11 Висновок**

В результаті проведеної роботи з проектування перспективного технологічного процесу виготовлення деталі можна зробити такі висновки:

1) Вибір отримання заготовки шляхом техніко-економічного аналізу було змінено на поковку штампуванням на КГШП.

2) Розроблено раціональний маршрут оброблення заготовки завдяки якому скорочено кількість операцій з 18 до 10. При цьому даний маршрут враховує принцип поетапності, інтегрування операцій, суміщення та постійності технологічних баз.

3) Виконано уточнення операційних припусків і розмірів на оброблення внутрішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 100H9$ ;

4) Обґрунтовано вибір металорізального устаткування, оснастки, вибір схем базування на комплексні технологічні операції. Для даних операцій визначено раціональні режими різання та норми часу;

5) Спроектовано та обґрунтовано верстатний пристрій для установаження заготовки на комплексній з ЧПК операції.

6) Спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій для вимірювання радіального биття поверхні  $\varnothing 153$  мм.

7) Для підтвердження правильності технічних рішень, прийнятих під час проектування верстатного пристрою (див. п. 5 висновку) пропонується виконати дослідження його конструкції з використанням методу статичного аналізу.



## РОЗДІЛ 3

# ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА КОМПЛЕКСНІЙ ОПЕРАЦІЇ З ЧПК МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ

### 3.1 Актуальність, мета та методи дослідження

Проектування верстатного пристрою є складним завданням, що складається з багатьох критеріїв та вимагає від проектувальника чималого досвіду та навичок. В умовах середньосерійного виробництва існує потреба у проектуванні великої кількості відносно оригінальних верстатних пристроїв, що мають бути готові до установлення виробів різноманітної конфігурації. Саме тому, конструкція проєктованого верстатного пристрою, як частини технологічної оброблювальної системи, є її вузьким місцем. Правильність рішень, прийнятих під час проектування верстатного пристрою, потрібно перевіряти на предмет його стійкої та надійної роботи в умовах зокрема статичних навантажень.

В пункті 2.9 пояснювальної записки було запропоновано спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установлення заготовки «патрубка» на комплексній з ЧПК операції 025. Оброблення 12 глухих отворів здійснюється в умовах дії відносно великих силових навантажень з боку процесу різання. Внутрішнім джерелом силового навантаження системи «пристрій-заготовка» є механізований привод закріплення заготовки, що викликає дію зусилля з боку штоку пневмоциліндра через швидкознімну шайбу-прихват на заготовку. Тому цілком ймовірно, що дослідження проєктованого верстатного пристрою в системі з оброблюваною заготовкою дозволить виявити помилки в окремих конструктивних елементах його конструкції.

Для дослідження конструкції системи «пристрій-заготовка» скористаємося пакетом математичного аналізу Ansys Workbench. Статичний аналіз конструкції виконаємо з використанням модуля Static Structural. Програмний пакет Ansys Workbench є широко розповсюдженим у світі та дуже гарно зарекомендував себе для вирішення задач подібного класу.

Першою дією алгоритму дослідження буде розроблення твердотільної моделі «пристрій-заготовка». Побудову такої моделі зручно виконати у програмі Компас-3D. Загальний вигляд твердотільної моделі верстатного пристрою наведений на рисунку 3.1.

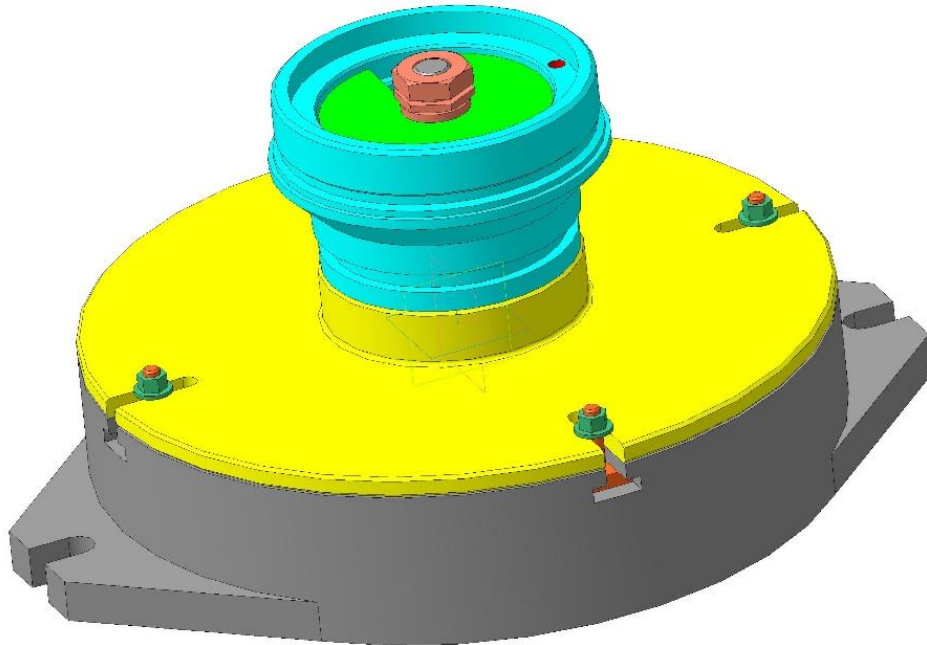


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель системи «пристрій-заготовка»

До складу системи, що буде підлягати безпосередньому статичному дослідженню в Ansys Workbench повинні увійти тільки основні елементи конструкції пристрою. Елементи, що не беруть участь у безпосередній силовій взаємодії необхідно виключити із розрахунку.

Друга дія, це перенесення (імпорт) твердотільної моделі до пакету Ansys (див. рисунок 3.2) мета якої є передача інформації про геометричну модель системи. В досліджуваних моделях зокрема були зазначені характеристики сполучень в системах «корпус-шток» (рисунок 3.3), «прихват-гайка» (рисунок 3.4), «заготовка-прихват» (рисунок 3.5). Перше сполучення характеризується як «Frictionless» – відсутність тертя (між поверхнями корпусу та штока існує зазор). Друге та третє сполучення характеризуються як «Frictional» – тертя ковзання з коефіцієнтом тертя – 0,16, який характерний для чисто оброблених поверхонь.

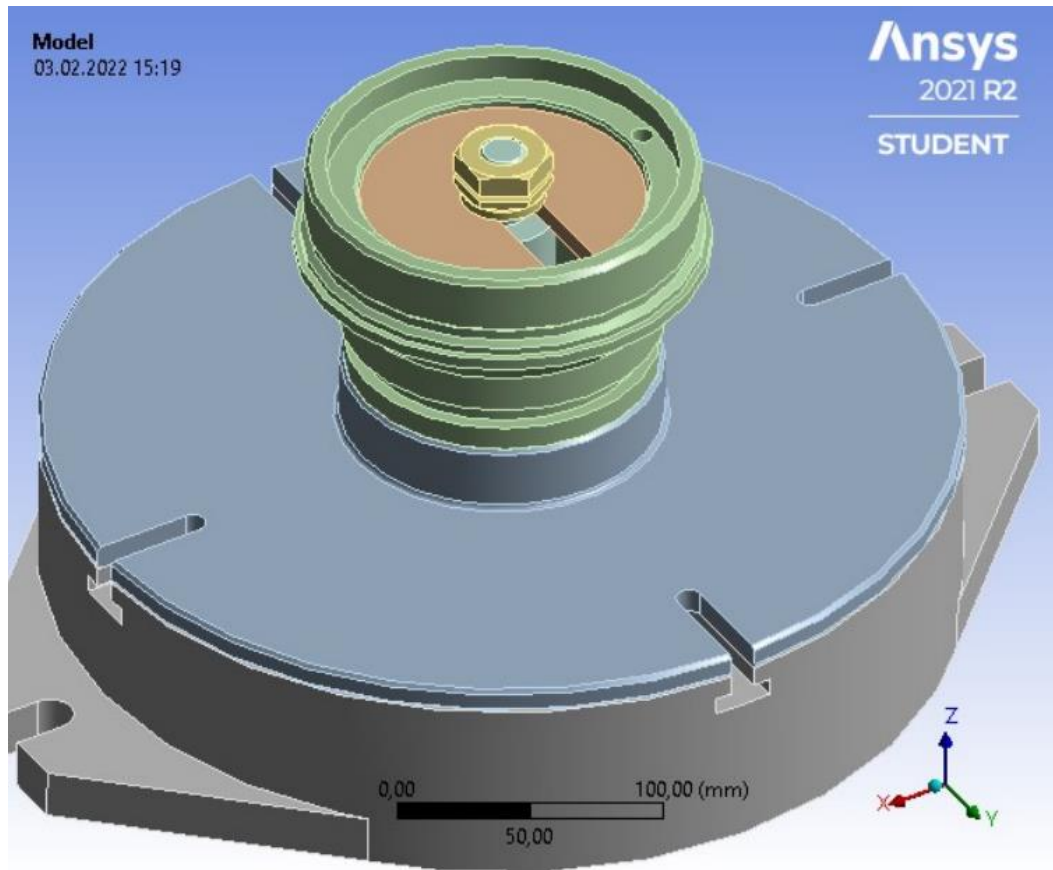


Рисунок 3.2 – Імпортована геометрична модель досліджуваної системи

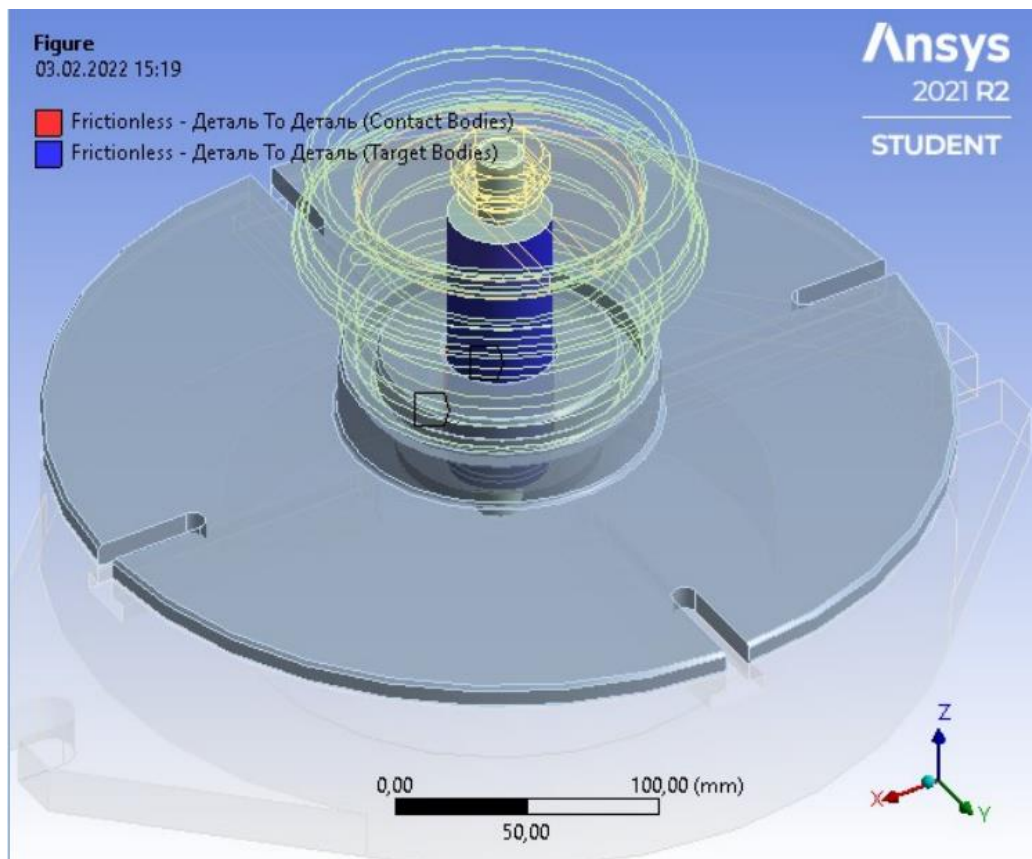


Рисунок 3.3 – Сполучення поверхонь в системі «корпус-шток»

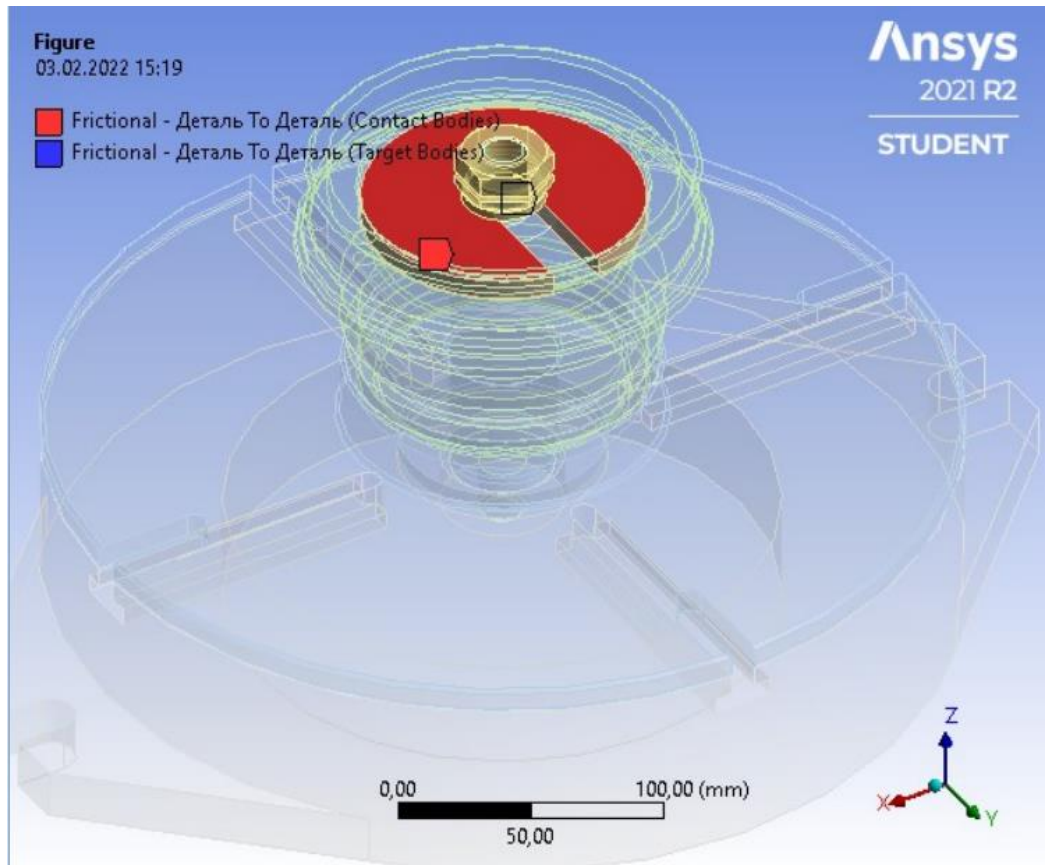


Рисунок 3.4 - Сполучення поверхонь в системі «прихват-гайка»

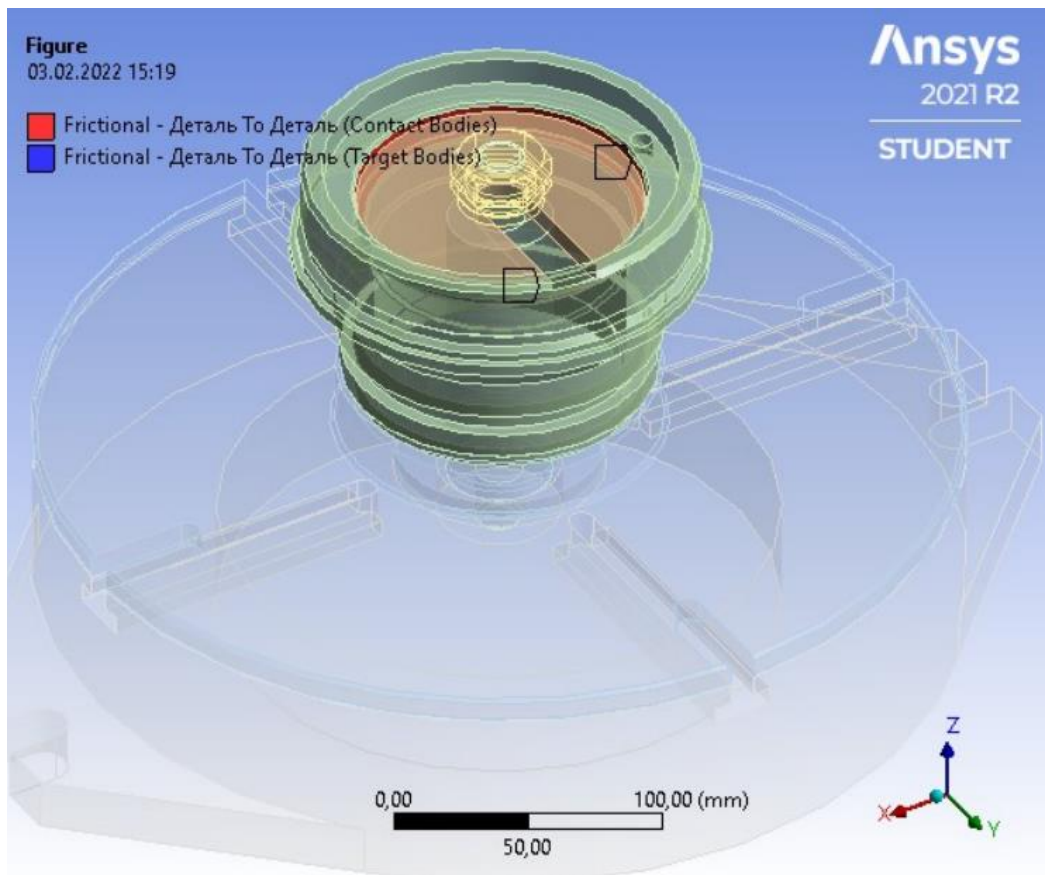


Рисунок 3.5 – Сполучення поверхонь в системі «заготовка-прихват»

Характеристики матеріалів елементів моделі беремо за замовчуванням, як механічні властивості середньовуглецевої конструкційної сталі: модуль Юнга –  $2 \cdot 10^5$  МПа, межа текучості – 250 МПа, межа міцності – 460 МПа.

Для забезпечення закріплення заготовки здійснюється поступальний рух штоку на якому за допомогою гайки закріплений прихват під тиском якого заготовка фіксується. При цьому шток сприймає зусилля з боку пневмокамери в розмірі  $Q = 10852$  Н, див. рисунок 3.6.

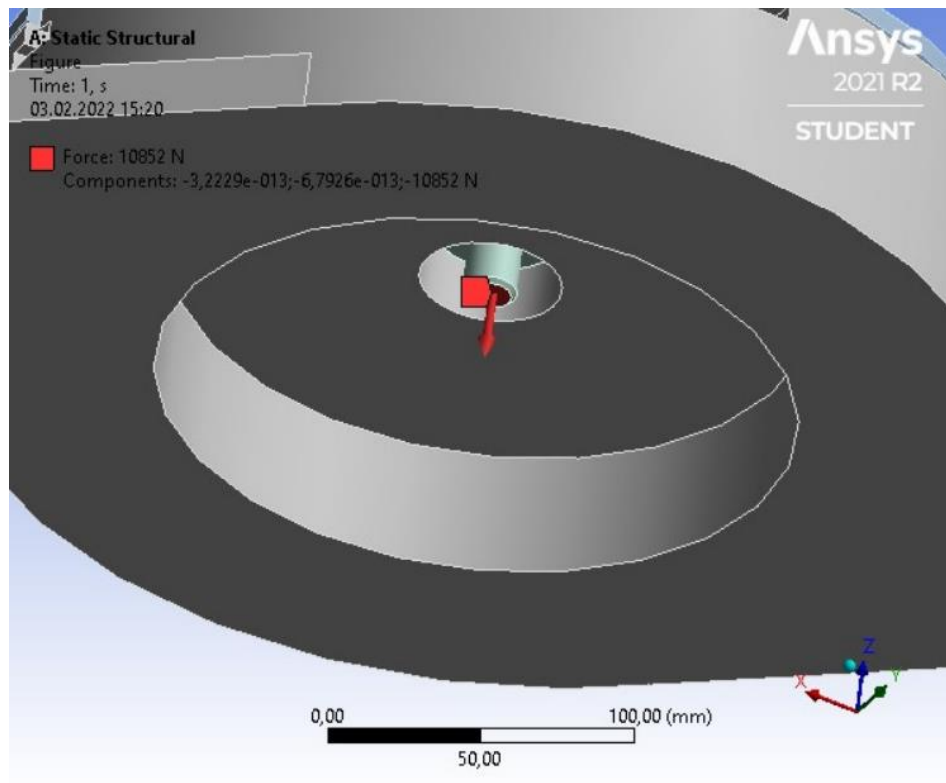


Рисунок 3.6 – Дія зусилля з боку приводу затискання заготовки

За попередніми розрахунками визначено, що під час реалізації операції свердління на заготовку зі сторони процесу різання діє складова сили різання  $P$ , що на плечі утворює момент різання  $M = 25720$  Н·мм. На рисунку 3.7 покажемо дію цього моменту, як одне з граничних обмежень.

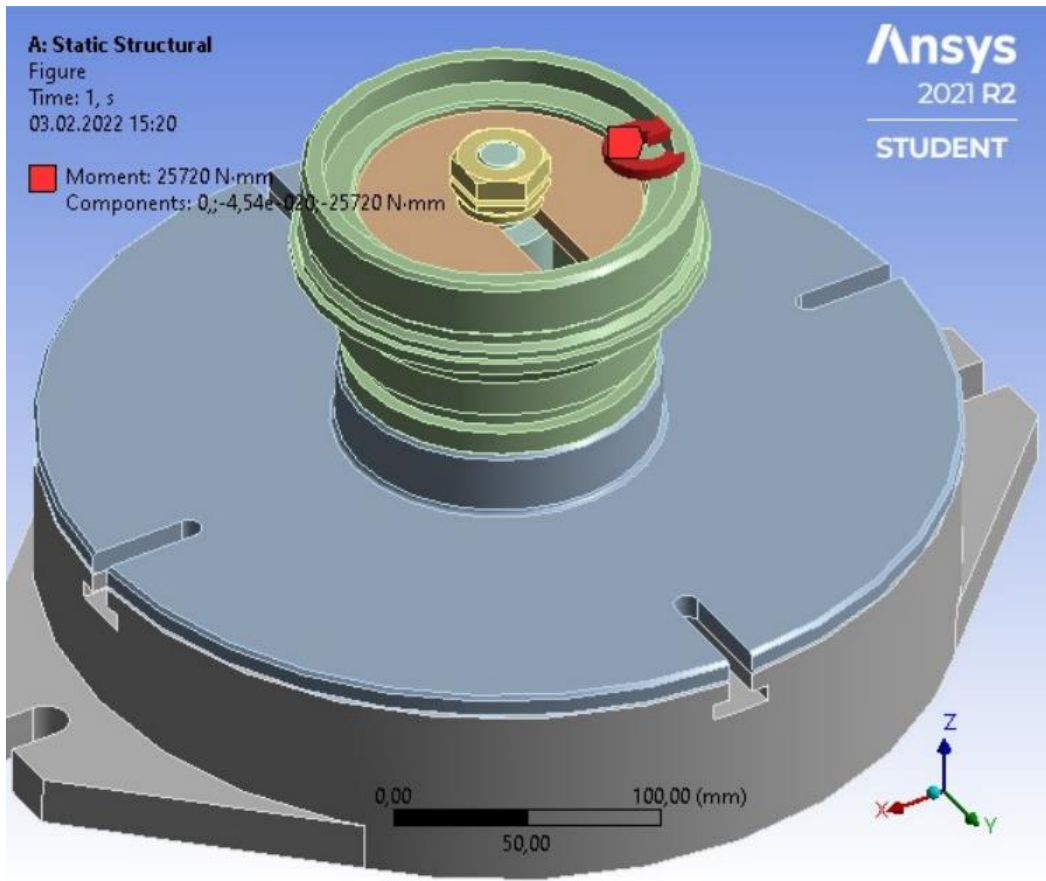


Рисунок 3.7 – Дія моменту різання на заготовку

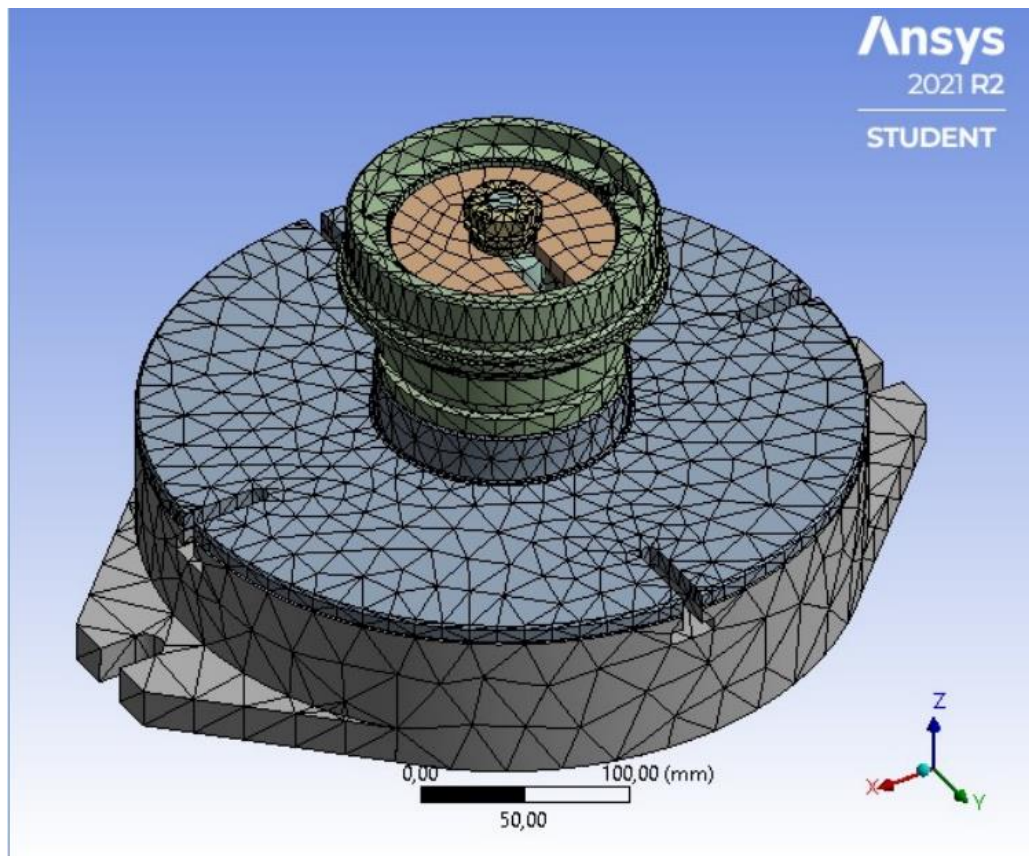


Рисунок 3.8 – Побудова сітки скінчених елементів

В автоматичному режимі була побудована сітка скінчених елементів, див. рисунок 3.8. Кількість скінчених елементів – 13641, мінімальна довжина грані елемента – 0,58653 мм.

### 3.2 Аналіз результатів статичного дослідження системи «пристрій-заготовка»

В результаті проведення статичного аналізу системи «пристрій-заготовка» були отримані такі епюри: епюра напружень (Equivalent Stress), див. рисунок 3.9, та епюра деформацій (Total Deformation), див. рисунок 3.10.

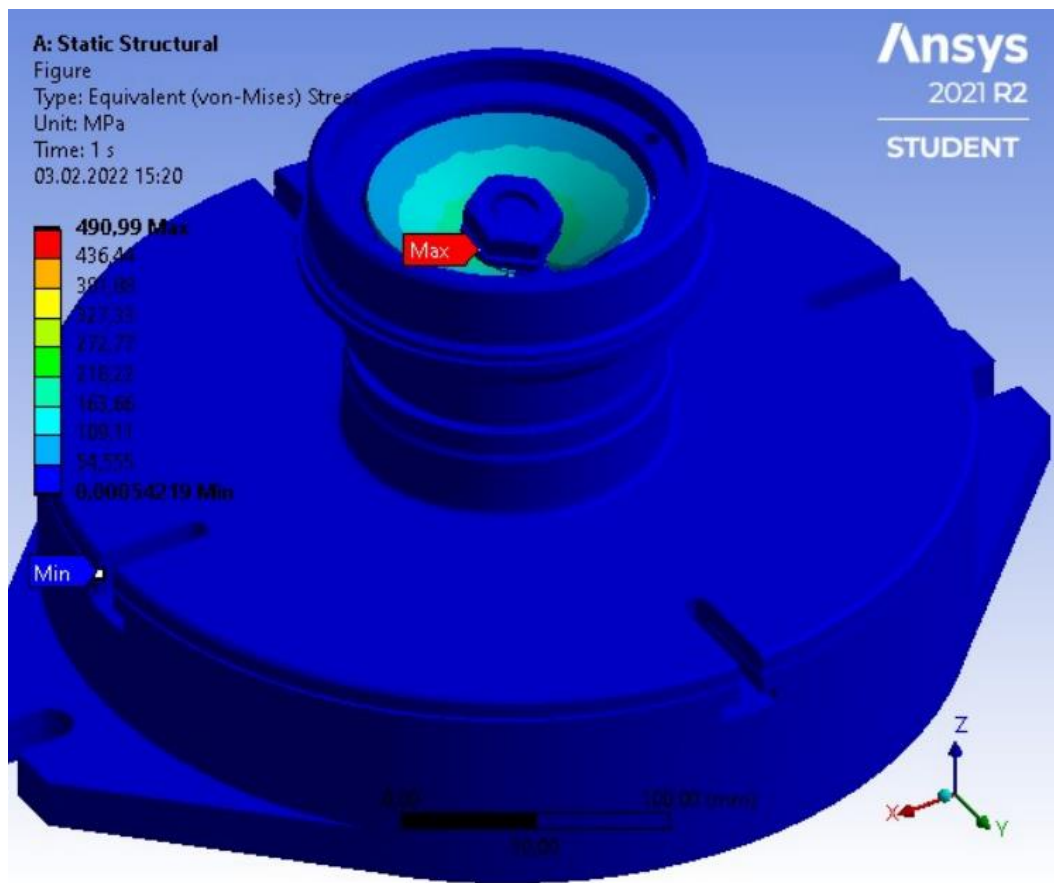


Рисунок 3.9 – Епюра напружень досліджуваної системи

Епюра напружень показала нам максимальний рівень напруження у 490,99 МПа. Якщо розглянути більш детально то можемо побачити, що найбільший рівень напруження характерний для шайби-прихвата. На мою думку

рівень напруження у 490,99 МПа є занадто великим, якщо порівнювати його з межею міцності матеріалу шайби-прихвата (460 МПа). Такий рівень напружень був визначений за умови використання шайби-прихвата товщиною 8 мм.

З рисунку 3.10 можемо побачити що найвищий рівень деформації (0,48217 мм) характерний для штоку. Ця деформація є кінематичною (не пружною та не пластиною), але вона опосередковано характеризує пружно-пластичну деформацію шайби-прихвата, що перешкоджає вільному переміщенню штока.

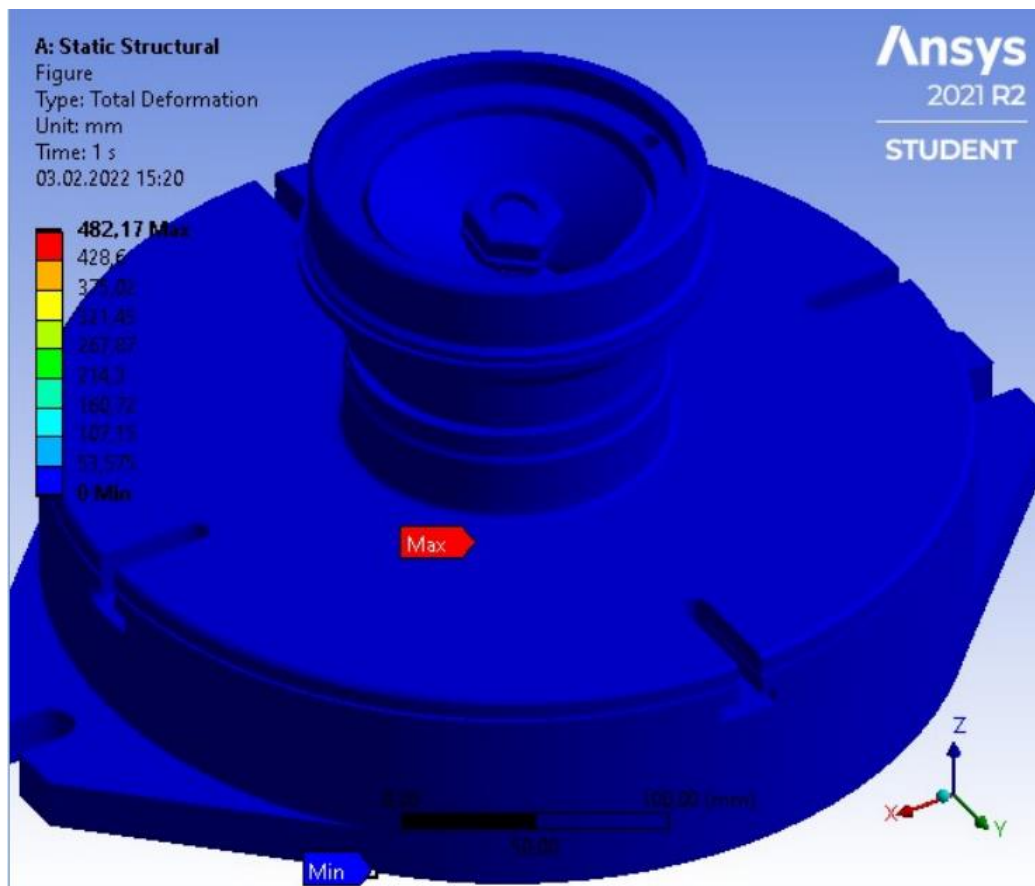


Рисунок 3.10 – Епюра деформацій досліджуваної системи

Пошукове експериментальне дослідження дозволило виявити шлях до зменшення внутрішніх напружень та деформацій шайби-прихвата через збільшення її товщини. Так, збільшенням товщини з 8 до 10 мм вдалося зменшити рівень напруження до 332,25 МПа та рівень деформацій – до 0,3237 мм.

Збільшенням товщини до 12 мм вдалося зменшити напруження до 245,73 МПа (див. рисунок 3.11) та деформацій – до 0,27034 мм (див. рисунок 3.12).



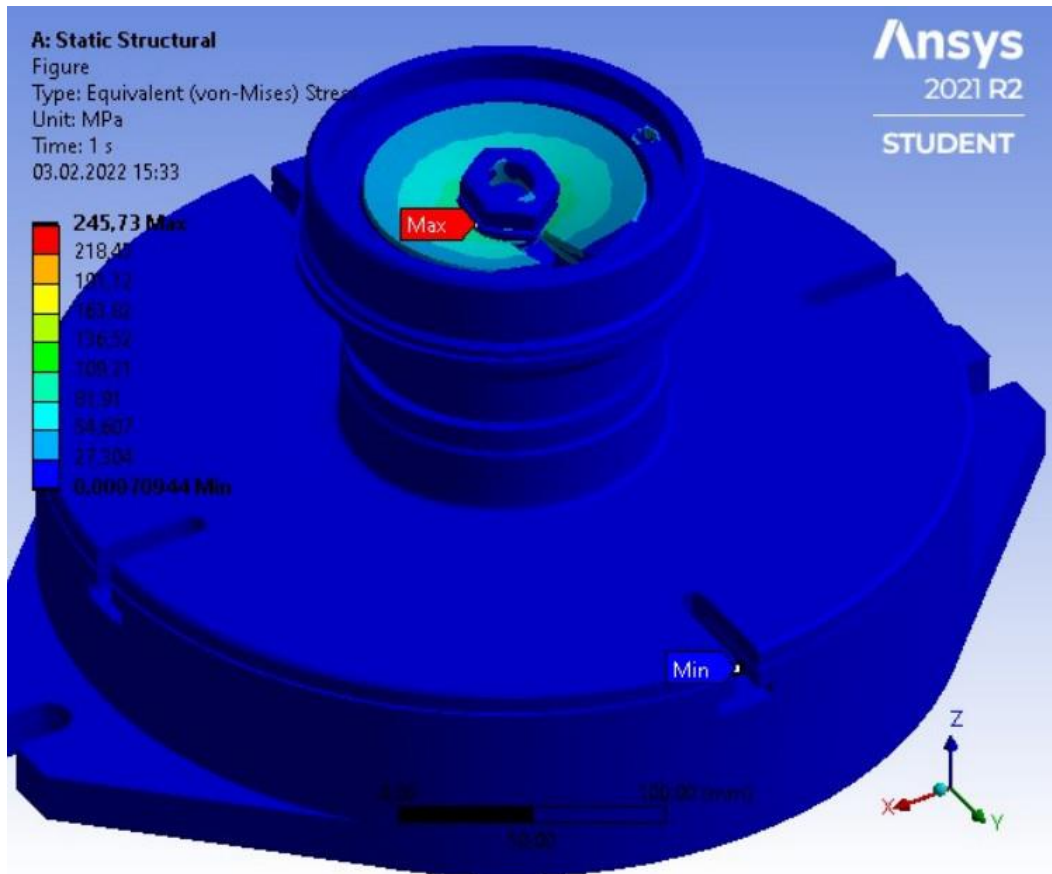


Рисунок 3.11 – Епюра напружень досліджуваної системи

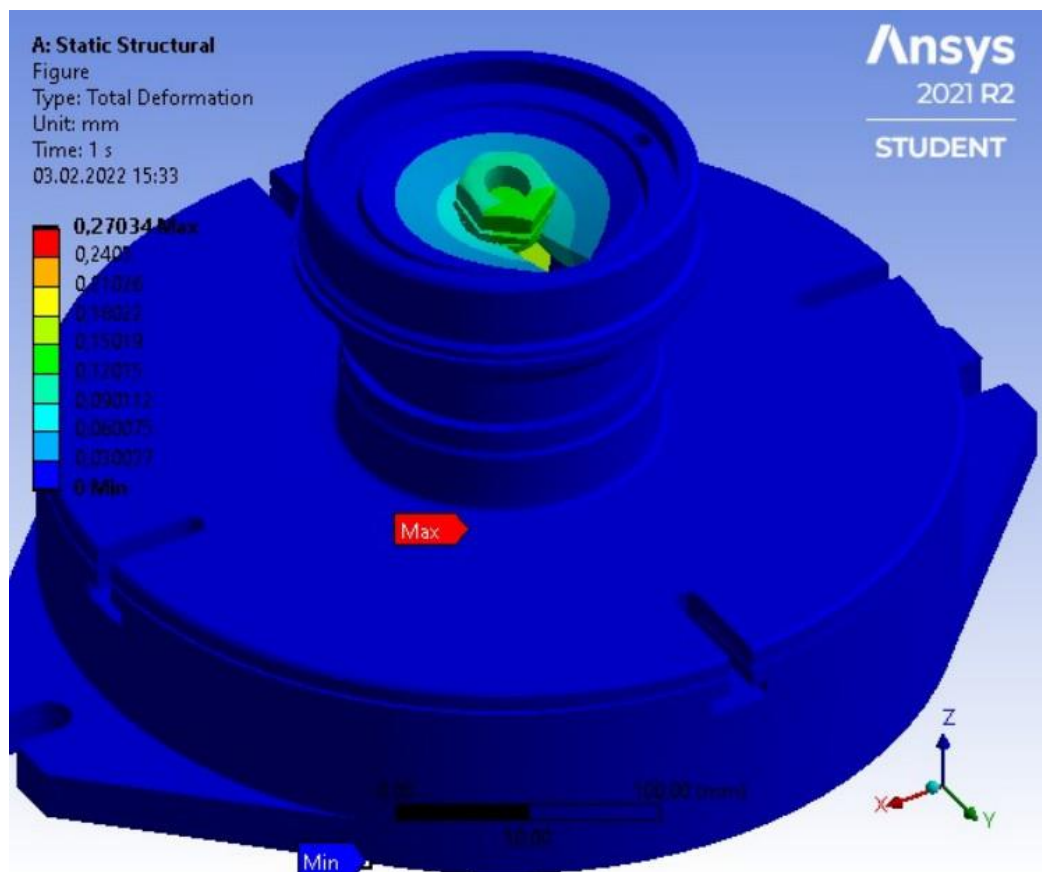


Рисунок 3.12 – Епюра деформацій досліджуваної системи

В такому разі рівень внутрішніх напружень не перевищує межу текучості матеріалу шайби-прихвата, що є прийнятним.

### **3.3 Висновок**

В результаті дослідження запропонованої конструкції системи «пристрій-заготовка» методом статичного аналізу було встановлено неприпустимо високий рівень внутрішніх напружень (490,99 МПа), характерний для шайби-прихвата пристрою. В результаті пошукового експериментального дослідження виявлено, що збільшення товщини шайби-прихвата з 8 мм до 12 мм дозволило зменшити рівень внутрішніх напружень до припустимого рівня 245,73 МПа, що не перевищує межу текучості матеріалу шайби-прихвата (250 МПа). Рівень внутрішніх напружень та деформацій інших елементів досліджуваної системи «пристрій-заготовка» є задовільним.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті проведення аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі (патрубок ВКМ.Д-100-080-С-Р-001) встановлено ряд недоліків які в основному стосуються використання морально та фізично застарілого, малопродуктивного обладнання та низького рівня використання засобів автоматизації та механізації. Сформульовані деякі рекомендації щодо вдосконалення перспективного технологічного процесу.

2. Розроблено перспективний технологічний процес виготовлення деталі з урахуванням зауважень та рекомендацій відносно базового технологічного процесу, що враховує в себе раціональний спосіб отримання заготовки, принцип поетапності і оброблення поверхонь заготовки, використання сучасних верстатів з ЧПК та спеціального верстатного пристрою.

3. Було проведено статистичний аналіз пропонованої конструкції верстатного пристрою в результаті якого виявлено слабкі місця її окремих функціональних елементів та за допомогою експериментів знайдено спосіб щодо зменшення рівня внутрішніх напружень.

4. Розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях , яке наведено у додатку Г.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / Под ред. А. К. Кутая, Б. М. Сорочкина. – Л.: Машиностроение, 1983. – 368 с.
2. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х томах. Т. 1 / В. И. Анурьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
3. Дунаев, И. И. Организация проектирования системы технического контроля / И. И. Дунаев, Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.
4. Цейтлин, Я. М. Нормальные условия измерений в машиностроении / Я. М. Цейтлин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 224с.
5. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1986.
6. Чумаков Г.С. “Методические указания к выполнению контрольной работы по проектированию станочных приспособлений для студентов специальностей: 7.090202, 7.090203, 7.090204 всех форм обучения” – Сумы изд-во СумГУ, 1997 – 36с;
7. Справочник технолога –машиностроителя. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроения, 1986.Т2.
8. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.
9. Дунаев, И. М. Организация проектирования системы технического контроля / И. М. Дунаев, Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – М. : Машиностроение,1981. – 191 с.
10. Загальномашинобудівні нормативи режимів різання для технічного нормування робіт виконуваних на металорізальних верстатах з ЧПК. - Ч.1. Токарні, карусельні, токарно-револьверні, алмазно-розточні, свердлильні, довбальні і фрезерні верстати. – Москва: Машинобудування, 1974. – 416 с.

11. Виноградов А. Н. Справочник контролера машиностроительного завода: Допуски, посадки, линейные измерения / Виноградов А. Н.; Под ред. А. И. Якушева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980.

12. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, наобслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – 2-е изд., уточн. и доп. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.