

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення циліндра  
третього ступеня 43.42.22.019.01.00.00 установки компресорної  
ЗВШ 1,6-3/46 МЗ шляхом оптимізації конструкції верстатного  
пристрою на комплексній операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

*Н. Г. Микитенко*

Керівник

*Ю. О. Денисенко*

Консультант з охорони праці  
та безпеки у надзвичайних ситуаціях

*В. В. Фалько*

Нормоконтроль

*О. В. Івченко*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі .....	7
1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі .....	12
1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт .....	16
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	18
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі .....	22
1.6 Висновок .....	29
Розділ 2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі .....	30
2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки.....	30
2.2 Розробка раціонального маршруту оброблення заготовки .....	34
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку поверхні обертання.....	41
2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки .....	42
2.5 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів .....	47
2.6 Обґрунтування вибору засобів технологічного оснащення .....	50
2.7 Розрахунок режимів різання .....	51
2.8 Технічне нормування операцій.....	55
2.9 Проектування верстатного пристрою для установки заготовки.....	58
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою .....	66
2.11 Висновок .....	76
Розділ 3 Статичний та динамічний аналіз системи «пристрій-заготовка» ...	77
3.1 Актуальність дослідження .....	77

3.2 Методи дослідження.....	77
3.3 Результати статичного аналізу досліджуваної системи.....	81
3.4 Результати динамічного аналізу досліджуваної системи .....	85
3.5 Висновок .....	88
Висновки .....	89
Список джерел посилань.....	90
Додаток А Креслення деталі «Циліндр III ступеня 43.42.22.019.01.00.00»..	92
Додаток Б Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання.....	94
Додаток В Пристрій верстатний спеціальний (специфікація) .....	95
Додаток Г Пристрій для контролю радіального биття (специфікація) .....	98
Додаток Д Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	101

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Установка компресорна ЗВШ 1,6-3/46 МЗ повітряна, поршнева, стаціонарна призначена для одержання стисненого повітря, що використовується у високовольтних повітряних вимикачах та інших системах споживання. «Циліндр III ступеня 43.42.22.019.01.00.00», що є однією з найбільш відповідальних деталей компресора, працює в складнонапружених умовах та призначений для стиснення повітря до кінцевого тиску. Тому питання удосконалення технології виготовлення, зокрема «циліндра III ступеня» є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема роботи тісно пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення виробів (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 «циліндра III ступеня 43.42.22.019.01.00.00» шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі завдання:

- 1) виконати аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі з виявленням його основних недоліків та формулюванням пропозицій щодо їх усунення;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі, спрямований на підвищення продуктивності виготовлення деталі за умови дотримання технічних вимог її креслення;

- 3) спроектувати верстатний пристрій для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції;
- 4) спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття поверхонь деталі;
- 5) виконати дослідження пропонованої конструкції верстатного пристрою методами скінчено-елементного аналізу (статичний та динамічний аналіз);
- 6) сформулювати рекомендації з вдосконалення конструкції верстатного пристрою та вибору раціональної структури й параметрів операції комплексної з ЧПК.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення «циліндра III ступеня 43.42.22.019.01.00.00», операція комплексна з ЧПК.

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

**Методи дослідження.** Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Твердотільну модель конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції розроблено у пакеті інженерного дизайну Компас-3D. Статичний та динамічний аналіз конструкції верстатного пристрою виконано у пакеті ANSYS Workbench з використанням модулів Static Structural та Modal відповідно.

**Наукова новизна:** в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний та динамічний аналіз пропонованої конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки «циліндра III ступеня 43.42.22.019.01.00.00» на комплексній з ЧПК операції, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою та забезпечення його стійкої роботи в умовах дії статичних та динамічних навантажень.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення

заготовки «плити» на поздовжньо-фрезерній операції з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації поздовжньо-фрезерної 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 2021 р.

**Особистий внесок автора.** Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі. Запропоновані раціональний маршрут оброблення заготовки, обґрунтовано вибір способу отримання вихідної заготовки, схем базування заготовки, верстатів та оснастки, визначені режими різання та технічні норми часу на технологічні операції. Спроектовано конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки. Спроектовано конструкцію контрольно-вимірювального пристрою. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 12 найменувань, 91 сторінок основного тексту, 21 рисунка та 14 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання

Установка компресорна ЗВШ 1,6-3/46 МЗ повітряна, поршнева, стаціонарна призначена для одержання стисненого повітря тиском, абс., 4,513 МПа (46 кг/см<sup>2</sup>)\*, що використовується у високовольтних повітряних пристроях вимикання та інших системах споживання. Загальний вигляд установки типу ЗВШ наведений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вид установки компресорної типу ЗВШ

Установка компресорна ЗВШ 1,6-3/46 МЗ виготовляється у кліматичному виконанні УХЛ4 ГОСТ 15150-69 та призначена для заміни компресорів, що відпрацювали свій ресурс, на діючих електростанціях.

Установка ЗВШ 1,6-3/46 МЗ призначена для експлуатації на висоті над рівнем моря – не більше 1000 м.

У зв'язку з постійною роботою з вдосконалення виробу, що підвищує його надійність й поліпшує умови експлуатації, в конструкцію можуть бути внесені незначні зміни, що знайшли відображення в цьому виданні паспортних характеристик (див. таблицю 1.1).

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики установок типу ЗВШ

Найменування параметрів	Норма для станції							
	ЗВШ 1,6-3/46 МЗ	ЗВШ 1,6-2,3/230	ЗВШ 1,6-4/40С	ЗВШ 1,6-6/40 С	ЗВШ 1,6-6/10	ЗВШ 1,6-6/10С	ЗВШ 1,6-10/9С	ЗВШ 1,6-10/4
Продукт. за всас., нм <sup>3</sup> /хв.	3,0±0,15	2,3±0,115	4±0,2	6±0,3	6,0±0,3	6,0±0,3	10,0±0,5	10,0±0,5
Тиск кінцев, абс., кгс/см <sup>2</sup>	46	231	41	41	10	10	9	4
Робочий газ	Повітр.	Повітр.	Повітр., без вм. масла	Повітр., без вм. масла	Повітр.	Повітр., без вм. масла	Повітр., без вм. масла	Повітр.
Потужність ел. двиг, кВт	45	45	55	75	55	55	75	55
Охолодження	Повітр.	Повітр.	Повітр.	Вод.	Повітр.	Повітр.	Вод.	Вод.
Сфера заст.	Підпр. енерг.	Підпр. енерг.	Пластик. посуд, енерг.	Пластик. посуд, енерг.	Загал. пром.	Харч. пром., повітря для КВП	Харч. пром., повітря для КВП	Пневмо-транспорт сипучих матер.

Будова і принцип роботи виробу полягає в такому. Колінчастий вал установки КМ, що приводиться в рух двигуном М через пружну муфту, передає зворотнопоступальний рух поршням І, ІІ, ІІІ ступенів. При цьому поршні переміщуються в циліндрах з одного крайнього положення в інше. Під час руху поршня І ступеня вниз у циліндрі утворюється розрідження, внаслідок чого відкривається клапан всмоктування І ступеня й атмосферне повітря через фільтр Ф, порожнину всмоктування головки І ступеня і клапан надходить до порожнини циліндру. Під час руху поршня вгору повітря в циліндрі стискається, через клапан нагнітання й нагнітальну порожнину головки через трубопровід надходить на охолодження до пластинчасто-ребристого холодильника Х1 та далі, до волого-масло-відокремлювача І ступеня.

Охоложене у холодильнику повітря надходить через порожнину всмоктування головки і клапан всмоктування ІІ ступеня до циліндру ІІ ступеня, де дотискається до тиску, надл. 11,2 кгс/см<sup>2</sup>. Стиснуте у циліндрі ІІ ступеня повітря



надходить через клапан нагнітання II ступеня, порожнину нагнітання головки II ступеня по трубопроводу до пластинчасто-ребристого холодильника X2 та далі, до волого-масловідокремлювача II ступеня. Охолоджене у холодильнику повітря надходить через порожнину всмоктування головки і клапан всмоктування III ступеня до циліндру III ступеня, де дотискається до кінцевого тиску. З циліндра III ступеня через клапан нагнітання й порожнину нагнітання головки III ступеня стиснене повітря надходить через трубопровід до кінцевого холодильника X3 і далі до волого-масловідокремлювача III ступеня. Охолоджене повітря після I кінцевого холодильника і волого-масловідокремлювача III ступеня через зворотний клапан K3 надходить до технологічної лінії споживання.

Так, система охолодження складається з блоку холодильників, осьового вентилятора й двигуна. Блок холодильників, що складається з холодильника I ступеня, холодильника II ступеня й кінцевого холодильника, охолоджується навколишнім повітрям завдяки осьовому вентилятору.

Після кожного «ступеня стиснення» передбачені запобіжні клапани для скидання стисненого повітря за умови підвищення тиску вище робочого на 15%.

Змащування циліндрів I, II, III ступенів, крейцкопфів I, III ступенів, поршневих пальців, корінних підшипників здійснюється розбризкуванням, змащування шатунних шийок колінчастого вала й тонкостінних вкладишів нижніх головок шатунів – циркуляційне, під тиском. Циркуляційне підведення мастила здійснюється системою змащення.

Мастило з картера установки засмоктується через сітчастий фільтр Ф1 шестерні насосом НШ й нагнітається до фільтру тонкого очищення Ф2. З фільтра тонкого очищення очищене масло надходить через мастилопровід до порожнини колінчастого вала, звідки через технологічний отвір поступає на шатунну шийку.

Фільтр тонкого очищення має редуктор тиску КР1.1, що слугує для регулювання робочого тиску, надл., масла в системі змащення у межах 0,1 – 0,35 МПа (1 – 3,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Обертання ведучої шестерні насоса здійснюється безпосередньо від колінчастого вала компресора через півмуфту 11. До торця колінчастого вала

підтискається пружиною 10 бронзова втулка 9 з штифтом, що утворює торцеве ущільнення і забезпечує герметичність мастильного каналу на лінії нагнітання шестеренного насоса.

Фільтром тонкого очищення є блок, який складається з металокерамічних фільтро-елементів 15. Очищення фільтра здійснюється відповідно до вказівок з технічного обслуговування. Несвоєчасне очищення фільтро-елементів може привести до підвищеного зношення тонкостінних вкладишів шатуна та подальшої поломки компресора.

Під час регулювання редукційного клапана необхідно зняти ковпачкову гайку 3, послабити контргайку 5 регулювального гвинта 4 й шляхом вгвинчування і вигвинчування викруткою цього гвинта встановити тиск, надл., мастила в клапані 0,1 – 0,35 МПа (1 – 3,5 кгс/см<sup>2</sup>). Система повітряних трубопроводів, до складу якої входять трубопроводи всмоктування та нагнітання, призначена для переміщення повітря, що стискається від фільтра всмоктування до колектора споживання.

Опис деталі. Основним призначенням циліндра III ступеня (див. креслення деталі 43.42.22.019.01.00.00, додаток А) є стиснення повітря до певного тиску за допомогою поршня III ступеня, що здійснює зворотно-поступальний рух. Таким чином, призначення циліндра III ступеня як деталі, є надання іншим деталям вузла необхідного взаємного розташування й визначення робочого об'єму порожнини циліндра.

Охолоджене у холодильнику повітря надходить через порожнину всмоктування головки й клапан всмоктування III ступеня до циліндру III ступеня, де дотискається до кінцевого тиску. З циліндра III ступеня через клапан нагнітання й порожнину нагнітання головки III ступеня стиснене повітря надходить через трубопровід до кінцевого холодильнику ХЗ й далі до волого-масловідокремлювача III ступеня.

Відповідно до нумерації поверхонь деталі, представленої на рисунку 1.2 можна визначити їх функціональне призначення:

- виконавчі поверхні: 11 – визначає робочий об'єм циліндра;

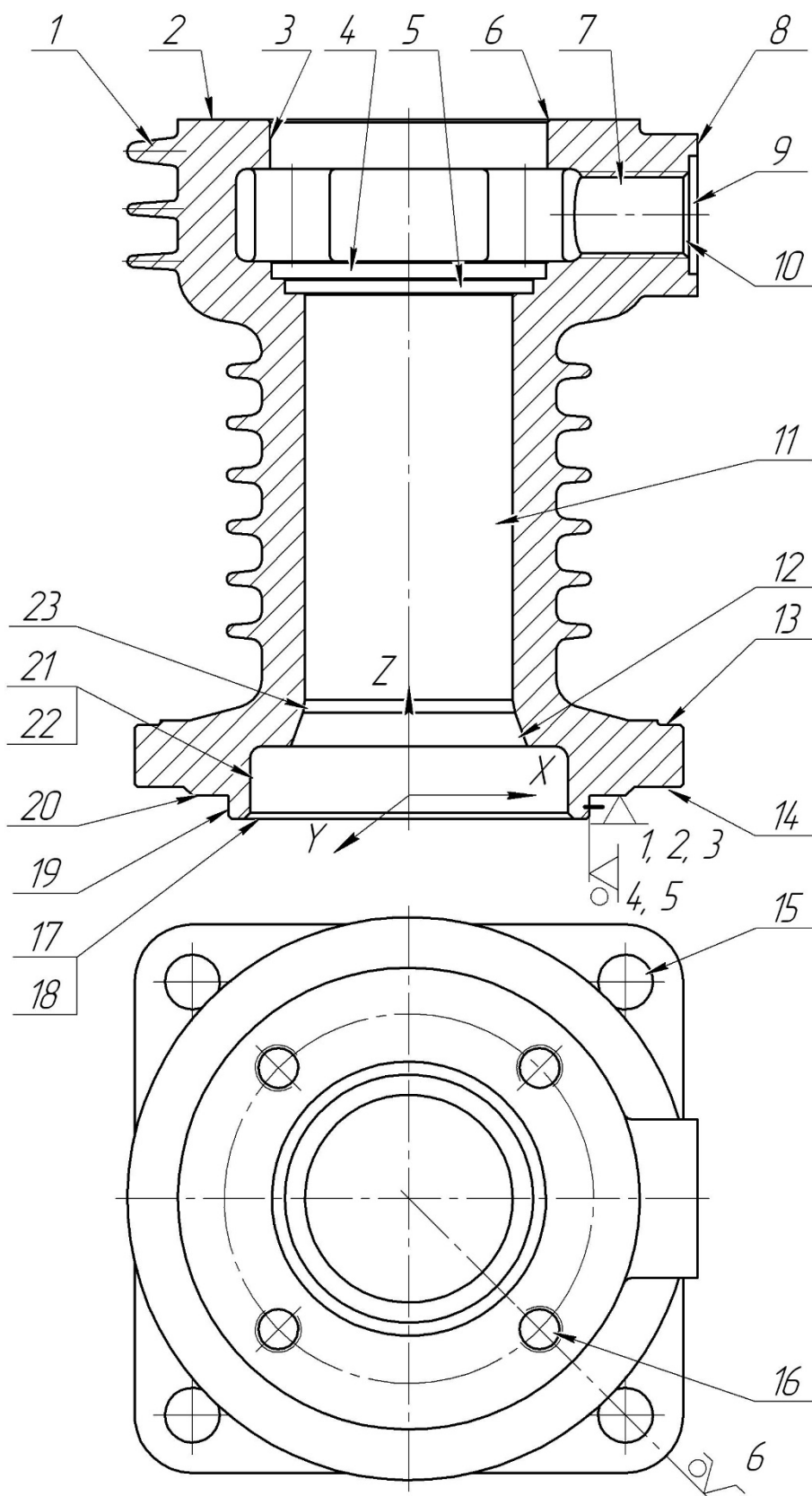


Рисунок 1.2 – Нумерація конструктивних елементів і поверхонь деталі

- ОКБ: 15, 19, 20 – забезпечують положення циліндра відносно корпусу компресорної установки, при цьому реалізується установча (поверхня 20), подвійна опорна (поверхня 19) і опорна бази (поверхня 15), деталь позбавляється 6-ти ступенів вільності. В таблицях 1.2 та 1.3 наведені таблиця відповідності та матриця зав'язків, що пояснюють особливості реалізації ОКБ.

- ДКБ: 2, 11, 16, 3, 5, 7, торець розточування 9, 12, 23;

- інші поверхні деталі є вільними.

Ребра 1 призначені для відведення надлишкового тепла, що виділяється в процесі роботи циліндра.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1, 2, 3	III, IV, V	Установча
4, 5	I, II	Подвійна опорна
6	VI	Опорна

Таблиця 1.3 – Матриця зав'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
$l$	0	0	1	Установча
$\alpha$	1	1	0	
$l$	1	1	0	Подвійна опорна
$\alpha$	0	0	0	
$l$	0	0	0	Опорна
$\alpha$	0	0	1	
	+2	+2	+2	= 6

## 1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Циліндр III ступеня можна віднести до деталей типу «корпус», конфігурація деталі – довгий циліндр з фланцями, конструкція в цілому характеризується досить високою

жорсткістю. Особливість конфігурації деталі полягає в наявності великої кількості ребер по зовнішній поверхні циліндричної частини, що призначені для відведення надлишкового тепла. Маса деталі – 15 кг. Габарити – 190×190×242 мм.

Циліндр III ступеня виготовлений з сірого чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85 (див. таблиці 1.4 та 1.5).

Матеріал деталі підібраний відповідно до умов її роботи за міцністю та іншими характеристикам. Сірий чавун є технологічним, та як матеріал використовується для заготовок отримуваних у вигляді виливків, тому що має гарну рідинотекучість, малу схильність до утворення усадкових дефектів порівняно з чавуном інших марок. З нього можна виготовити виливки складної конфігурації з товщиною стінок від 2 до 500 мм. Механічні властивості сірого чавуну забезпечують в литому стані або після термічного оброблення.

Таблиця 1.4 – Фізико-механічні властивості сірого чавуну марки СЧ20

$\sigma_{\text{изг}}$ , МПа	$\sigma_{\text{сж}}$ , МПа	$\tau_{\text{ср}}$ , МПа	КС, МПа	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\sigma_{-1}^{\text{изг}}$ , МПа	$K_{1c}$ , МПа · м <sup>0,5</sup>
420	800	200	20	85 – 110	90	15

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сірого чавуну марки СЧ20, у відсотках

C	Si	Mn	S	P
3,3...3,5	1,4...2,4	0,7...1	до 0,15	до 0,2

Твердість чавуну марки СЧ20 складає 143 – 255 МПа.

Аналіз якісних показників поверхонь деталі.

Більшість поверхонь деталі є вільними і не підлягають обробленню (у стані вилівка), саме тому розмірна точність поверхонь відповідає 16 – 17 квалітету, шорсткість поверхонь в середньому відповідає 100 мкм за критерієм Ra, що є цілком обґрунтованим для враховуючи їх службове призначення.

Поверхні, що виконують роль виконавчих та базових мають підвищену точність розмірів (7 – 9 квалітет) та чистоту (Ra = 0,8 – 3,2 мкм), що також зумовлено їх відповідальним функціональним призначенням:

- поверхня 11, див. рисунок 1.2,  $\varnothing 72H7$ , призначена для установки гільзи, в зв'язку з чим задана точність розміру за IT7, шорсткість поверхні  $Ra = 0,8$  мкм, відхилення від циліндричності – не більше 20 мкм, що забезпечує складання виробу й щільний контакт між поверхнями гільзи та циліндра; бурт гільзи встановлюють по торцю розточки 5,  $\varnothing 86H9$ , точність розміру за IT9,  $Ra = 3,2$  мкм, що дозволяє забезпечити низьке навантажене з'єднання з зазором (основне навантаження лежить на поверхні 11, де має місце менший зазор);

- група поверхонь 15, 19, 20 (ОКБ) забезпечує установку циліндра на фланець корпусу установки, щільне прилягання сполучених поверхонь забезпечують високою точністю розмірів, чистотою поверхонь, допусками форми й взаємного розташування (для поверхні 19,  $\varnothing 125f7$ ,  $Ra = 1,6$  мкм, відхилення від циліндричності – 20 мкм, допуск радіального биття – 20 мкм відносно поверхні 11, база «Д»; для поверхні 20 – точність за IT14,  $Ra = 3,2$  мкм, відхилення від перпендикулярності – не більше 20 мкм на 100 мм довжини відносно бази «Д»). Отвори 15 використовуються для установки болтів  $\varnothing 19$  мм з зазором (болти використовуються не для центрування деталі, а лише для її фіксації за рахунок стягування й сил тертя між сполученими поверхнями фланців циліндра й корпусу установки);

- поверхні різьбового отвору 7 (M30 $\times$ 2-7H,  $Ra = 3,2$  мкм) і торця розточки 9 ( $\varnothing 41H14$ ,  $Ra = 3,2$  мкм) дозволяють встановити штуцер з необхідною точністю та забезпечити при цьому достатню герметичність з'єднання;

- поверхні 2 (242h14,  $Ra = 12,5$  мкм), 3 ( $\varnothing 96H11$ ,  $Ra = 3,2$  мкм), 16 (M16-7H,  $Ra = 3,2$  мкм) дозволяють встановити патрубок установки по фланцю з необхідною точністю та забезпечити при цьому достатню герметичність з'єднання. Для забезпечення складання виробу на розташування різьбових отворів заданий позиційний допуск в межах 0,5 мм.

Креслення деталі також регламентує інші технічні вимоги на виготовлення деталі:

- 1) 160 ... 240HB – регламентує твердість матеріалу заготовки за Бринелем;
- 2) точність вилівка 11т-0-0-11т ГОСТ 26645-85 – умовне позначення точності вилівка, регламентує точність поверхонь заготовки;

- 3) формувальні ухили за ГОСТ 3212-80 – регламентує вимоги до технології та конструкції виливка, зокрема, невказані значення формувальних ухилів;
- 4) невказані ливарні радіуси 3 ... 6 мм – регламентує вимоги до технології та конструкції виливка, зокрема, невказані значення ливарних радіусів;
- 5) виливок піддати штучному старінню – регламентує вимоги до термічного оброблення виливка. Штучне старіння застосовують для зняття внутрішніх напружень, що з'являються у виливку у зв'язку з його нерівномірним охолодженням;
- 6) \* розміри для довідок;
- 7) на поверхні Е допускаються окремі раковини по найбільшому виміру до 1,5 мм, глибиною до 2 мм в кількості не більше 3 штук при розміщенні їх один від одного на відстані не менше 100 мм – регламентує допустиму кількість і величину дефектів на поверхні Е. Наявність незначних дефектів є допустимою, тому що ця поверхня безпосередньо не контактує з поршнем, але сполучається з зовнішньою поверхнею гільзи циліндра та сприймає деяке навантаження;
- 8) на поверхні Е, Ж допускаються чисті раковини з найбільшим розміром до 1,5 мм й глибиною до 1 мм у кількості 3 шт. при розміщенні їх один від одного на відстані не менше 100 мм – див. п. 7;
- 9) покриття зовнішніх необроблюваних поверхонь: лак ПФ-170 ГОСТ 1507-70 з алюмінієвою пудрою ГОСТ 5494-71.V. 300°C, УХЛ4.  $S_{\text{покр.}} = 0,2 \text{ м}^2$  – регламентує вимоги до покриття зовнішніх поверхонь деталі, необхідного для їх захисту від корозії тощо;
- 10) циліндр піддати гідравлічним випробуванням під тиском 6,8 МПа (68 кгс / см) впродовж 10 хв. Теча і потіння не допускаються – регламентує вимоги до стендових випробувань, що дозволяє перевірити деталь на герметичність;
- 11) на зовнішніх поверхнях ребер допускаються недоливи і відколи площиною не більше 5% від площі кожного ребра, при цьому глибина недоливу не повинна перевищувати 2 мм.

Зазначені на кресленні види, перетини, проставлення номінальних розмірів, допусків, відхилень, точності форми й взаємного розташування поверхонь є вірною і дає повне уявлення про конфігурацію розглянутої деталі.

Циліндр III ступеня є однією з найбільш відповідальних деталей агрегату, що працює в складних умовах знакозмінних циклічних навантажень, тому такі жорсткі технічні вимоги є цілком обґрунтованими та відповідають сучасному рівню виготовлення виробів енергетичного машинобудування.

### 1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт

Відповідно до ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризують коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о}$ , що показує відношення всіх різних операцій, виконуваних підрозділом впродовж місяця, до числа робочих місць [1, 2].

Згідно з завданням виробництво деталі «Циліндр III ступеня» здійснюється в умовах дрібносерійного виробництва (річний обсяг випуску деталей  $N_p = 200$  шт., нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для дрібносерійного-одиночного типів виробництва  $\eta_{з.н} = 0,75$  [1], режим роботи підприємства – у 2 зміни, дійсний річний фонд часу роботи обладнання  $F_d = 4015$  год [2]). За попередніми розрахунками коефіцієнт закріплення операцій становить  $K_{з.о} = 36,14$ , що дійсно відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Відомо, що дрібносерійний тип виробництва характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються періодично повторюваними партіями й порівняно великим обсягом випуску. Коефіцієнт закріплення операцій  $K_{з.о}$  при цьому становить 20 – 40 [1, 2].

Використовується універсальне, спеціалізоване і частково спеціальне металорізальне устаткування. Широко застосовуються верстати з ЧПК, оброблювальні центри, а також гнучкі автоматизовані системи на базі верстатів з ЧПК, зв'язаних транспортними системами, керованими від центральної ЕОМ. Устаткування розміщують за технологічними групами з урахуванням напрямків основних вантажних потоків цеху, за предметно-замкнутими ділянками.



Технологічна оснастка в основному є універсальною. Велике поширення мають універсально-складальні, переналагоджувані верстатні пристрої, що дозволяє значно підвищити коефіцієнт оснащеності дрібносерійного виробництва.

В якості вихідних заготовок використовують гарячий і холодний катаний прокат, лиття в землю й під тиском, точне лиття, поковки й точне штампування. Необхідна точність забезпечується як методами автоматичного отримання розмірів, так і методами пробних проходів з частковим застосуванням розмічування для складних корпусних деталей.

Кваліфікація робітників є вищою, ніж у масовому виробництві, але нижчою, ніж в одиничному. Поряд з універсальними робочими, що працюють на складному універсальному обладнанні, використовуються робітники-оператори, що працюють на попередньо налагоджених верстатах з ЧПК, обробних центрах тощо.

Залежно від особливостей технології виробництва та обсягу випуску забезпечується повна, неповна, групова взаємозамінність, однак застосовується й припасовування за місцем, компенсація розмірів. Технологічна документація та нормування детально розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок і спрощеного нормування – для простих заготовок.

Застосовуваний різальний інструмент – універсальний і спеціальний. Вимірювальний інструмент – шкальний універсальний інструмент, калібри, спеціальний вимірювальний інструмент.

Відповідно до визначеного типу виробництва й порядку виконання операцій, розташування технологічного устаткування, встановлюємо групову форму організації робіт, яка характеризується однорідними конструктивно-технологічними ознаками виробів, єдністю засобів технологічного оснащення.

Партію запуску визначаємо за формулою [2]:

$$N_n = \frac{N_p \cdot a}{259} = \frac{200 \cdot 24}{259} = 18,5 \approx 19 \text{ шт.},$$

де  $a = 24$  – періодичність запуску, дні (один раз на місяць).

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

«Циліндр III ступеня» має форму циліндра з фланцями по обидва боки, а також приплив, в якому перпендикулярно до центральної осі розташовано різьбовий отвір. Особливістю конструкції деталі є наявність ряду ребер, розташованих на зовнішній поверхні циліндричної частини конструкції для забезпечення відведення надлишків тепла, що виділяється в процесі роботи виробу.

Габарити деталі 242×190 мм, компактна конструкція є технологічною ознакою. Масивні стінки циліндра і фланців, ребра, роблять конструкцію деталі досить жорсткою (технологічний ознака).

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85, є досить поширеним і відносно дешевим матеріалом, який крім іншого, також відносно легко обробляється різанням, що є ознакою технологічності.

Заготовка – вилівок, має досить складну конфігурацію, яка визначається перетином поверхонь квадратних фланців і циліндричної частини, наявністю ребер. При відливанні отворів є необхідність у використанні стрижневої системи.

У зв'язку з відповідальним призначенням деталі до її матеріалу пред'являють підвищені вимоги щодо якості (регламентовано наявність, розміри дефектів, умови гідравлічних випробувань тощо).

З точки зору механічного оброблення деталь є досить простою та відкритою, до всіх оброблюваних поверхонь є вільний доступ. Деталь має ряд розвинених поверхонь, що можуть використовуватися як технологічні бази.

У конструкції деталі має місце ряд «класних» поверхонь, тобто поверхонь з високою точністю розмірів. Наявність таких поверхонь є нетехнологічною ознакою, тому що сприяє ускладненню обробки заготовки, вимагає введення додаткових чистових етапів обробки, застосування устаткування підвищеної точності тощо:

1) довгий циліндричний отвір  $\varnothing 72H7$  ( $Ra = 0,8$  мкм, допуск циліндричності – 20 мкм);

2) приєднувальна циліндрична поверхня фланця  $\varnothing 125f7$  ( $Ra = 1,6$  мкм, допуск радіального биття і циліндричності – 20 мкм);

3) установлювальна поверхня фланця в розмір  $179_{-0,15}$  мм ( $Ra = 3,2$  мкм, відхилення від перпендикулярності – не більше 20 мкм на довжині 100 мм щодо центрального отвору (база «Д»));

4) циліндрична ступінь отвору  $\varnothing 86H9$  ( $Ra = 1,6$  мкм).

Отже, не дивлячись на ряд нетехнологічних елементів в конструкції, деталь в цілому є технологічною і може бути виготовлена без зміни конструкції.

Кількісна оцінка технологічності конструкції деталі.

Коефіцієнт використання заготовки  $K_{в.з}$  розраховуємо за формулою:

$$K_{в.з} = \frac{m_d}{m_z} \geq 0,71,$$

де  $m_d$  – маса деталі, кг;

$m_z$  – маса заготовки, кг;

0,71 – нормативний рівень коефіцієнту для серійного виробництва.

$$K_{в.з} = \frac{14,8}{16,8} = 0,88 > 0,71.$$

Коефіцієнт використання матеріала  $K_{в.м}$  розраховуємо за формулою:

$$K_{в.м} = \frac{m_d}{m_z + m_{онз}} \geq 0,64,$$

де  $m_{онз}$  – маса відходів виробництва, кг;

0,64 – нормативний рівень коефіцієнту для серійного виробництва.

Маса відходів виробництва визначають за формулою:

$$m_{\text{вт}} = m_3 \cdot 0,02,$$

де 0,02 – коефіцієнт неминучих технологічних втрат.

$$m_{\text{вт}} = 16,8 \cdot 0,02 \approx 0,34 \text{ (кг)},$$

$$K_{\text{в.м}} = \frac{14,8}{16,8 + 0,34} \approx 0,86 > 0,64.$$

Для розрахунку коефіцієнтів точності і шорсткості, які характеризують технологічність деталі кількісно, складемо таблицю 1.6, в якій наведемо якісні характеристики оброблюваних поверхонь деталі (див. рисунок 1.2).

Таблиця 1.6 – Характеристика поверхонь деталі

Номер поверхні, див. рисунок 1.1, 1.2	Кількість поверхонь	Квалітет точності	Шорсткість Ra, мкм
1	-	-	-
2	1	14	12,5
3	1	11	3,2
4	1	14	6,3
5	1	9	3,2
6	1	14	12,5
6*	3	14	6,3
7	1	7	3,2
8	1	14	12,5
9	1	14	12,5
10	1	14	12,5
11	1	7	0,8
12	1	14	0,8
13	-	-	-
14	-	-	-
15	4	14	12,5
16	4	7	3,2
17	1	14	12,5
18	1	14	12,5
19	1	7	1,6
20	1	10	3,2
21	1	14	6,3
22	1	14	6,3
23	1	14	0,8

Коефіцієнт точності  $K_m$  розраховуємо за формулою:

$$K_m = 1 - \left( \frac{1}{A_{cp}} \right) > 0,81,$$

де  $A_{cp}$  – середньоарифметичне значення квалітету точності розмірів;

0,81 – рівень коефіцієнту точності за діючими нормами для серійного типу виробництва.

$$A_{cp} = \frac{14 \cdot 19 + 11 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 7 \cdot 7}{29} \approx 11,89,$$

$$K_m = 1 - \left( \frac{1}{11,89} \right) \approx 0,92 > 0,81.$$

Коефіцієнт шорсткості  $K_{ш}$  розраховуємо за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32,$$

де  $B_{cp}$  – середньоарифметичне значення шорсткості;

0,32 – рівень коефіцієнта шорсткості за діючими нормами.

$$B_{cp} = \frac{12,5 \cdot 11 + 6,3 \cdot 6 + 3,2 \cdot 8 + 1,6 \cdot 1 + 0,8 \cdot 3}{29} \approx 7,06,$$

$$K_{ш} = \frac{1}{7,06} \approx 0,14 < 0,32.$$

Так, конструкцію деталі за кількісними показниками можна вважати технологічною.

### 1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Для побудови оптимального маршруту механічного оброблення даної заготовки виконаємо аналіз заводського технологічного процесу виготовлення «циліндра 43.42.22.019.01.00.00». З цією метою складемо таблицю 1.7, в якій поряд з номерами, назвами й коротким змістом операцій базового технологічного процесу, відзначимо особливості схем базування заготовки, а також металорізальне обладнання, що використовується на технологічних операціях.

Таблиця 1.7 – Короткий опис базового технологічного процесу виготовлення деталі

Номер операції	Найменування операції	Вміст операції	Базування заготовки	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Лиття металів та сплавів	Отримання заготовки-вилівка в піщано-глинисті форми	-	Машина для лиття
010	Термічна	Нормалізаційне відпалювання для зняття внутрішніх напружень у виливку	-	Термічна піч
015	Слюсарна	Обрубубання литників	-	-
020	Очищення	Очищення поверхонь виливка	-	-
025	Технічний контроль	Контроль механічних властивостей матеріалу виливка, контроль геометричних параметрів якості поверхонь виливка	-	-
030	Горизонтально-розточувальна	Одноразове підрізання торця $\varnothing 160$ , чорнове, півчистове й чистове розточування центрального отвору заготовки до $\varnothing 71,7H8$	По зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 160$ (по призмі), поверхні отвору $\varnothing 110$ (по конічному пальцю) з упором в торець $\varnothing 125$ (по упору) с вивірянням	Горизонтально-розточувальний верстат 2M615
035	Токарно-гвинторізна	Чорнове й чистове підрізання торців, точіння зовнішніх циліндричних поверхонь, розточування циліндричних й комбінованих ступенів центрального отвору заготовки з боку квадратного фланця	По центральному отвору $\varnothing 71,7H8$ (по розтискній оправці) з упором в торець $\varnothing 160$ (по упору)	Токарно-гвинторізний верстат 16K20

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5
040	Токарно-гвинторізна	Чорнове й чистове підрізання торців, розточування циліндричних ступенів центрального отвору заготовки, фасок з боку круглого фланця	По центральному отвору $\varnothing 71,7H8$ (по розтискній оправці) з упором в торець $\varnothing 156$ (по упору)	Токарно-гвинторізний верстат 16K20
045	Розмічування	Розмічування центрів 4-х отворів M16-7H, 4-х отворів $\varnothing 19H14$ , бокового отвору M30 $\times$ 2-7H під подальше оброблення	-	Плита для розмічування
050	Радіально-свердлильна	Центрування й свердління 4-х отворів $\varnothing 19H14$ з боку квадратного фланця	По центральному отвору $\varnothing 71,7H8$ (з вивірянням) з упором в торець $\varnothing 160$ (по упору) й в торець квадратного фланця (по упору)	Радіально-свердлильний верстат 2M55
055	Радіально-свердлильна	Центрування й свердління 4-х отворів $\varnothing 14H12$ з боку круглого фланця, зенкування фасок, нарізання різі M16-7H	По центральному отвору $\varnothing 71,7H8$ (з вивірянням) з упором в торець $\varnothing 156$ (по упору), по отвору $\varnothing 19H14$ (по пальцю)	Радіально-свердлильний верстат 2M55
060	Радіально-свердлильна	Центрування, свердління, розсвердлювання отворів, цекування отворів $\varnothing 41H14$ , зенкування фаски, нарізання різі M30 $\times$ 2-7H	По зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 160$ (по призмі), поверхні отвору $\varnothing 110$ (по конічному пальцю) з упором в торець $\varnothing 160$ (по упору) й в торець квадратного фланця з вивірянням	Радіально-свердлильний верстат 2M55



Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5
065	Хонінгувальна	Хонінгування центрального отвору заготовки $\varnothing 72H7$	По зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 125f7$ (по кільцю) з упором в торець $\varnothing 156$ (по торцевій поверхні кільця)	Хонінгувальний верстат 3K833
070	Слюсарна	Зняття задирок, заокруглення гострих країв, калібрування різьбових отворів	-	Верстак
075	Випробування	Гідравлічне випробування заготовки	-	Стенд для випробування
080	Отримання покриттів	Нанесення захисного покриття на неробочі поверхні заготовки	-	Стенд для нанесення покриттів
085	Технічний контроль	Контроль якості поверхонь деталі	-	Стіл ВТК

На діючому виробництві під час виготовлення «циліндра 43.42.22.019.01.00.00» використовують маршрутний опис технологічного процесу (без операційних ескізів і без зазначення елементів режимів різання). Оформлення маршрутних карт також не відповідає встановленим стандартам, що знижує рівень технологічного забезпечення механічної обробки заготовки, а значить і якість виробництва деталей. Не вірно вказується найменування операцій – без урахування найменувань металорізального устаткування. У технологічному процесі не вказують операційні розміри заготовки, операційні припуски, часто відсутня вказівка допусків на оброблювані розміри, не вказані моделі верстатів, не на всіх операціях вказуються схеми базування і засоби технологічного оснащення. У зв'язку з цим, при складанні таблиці 1.7 використовувалася вся доступна інформація безпосередньо з робочих місць з виробництва розглянутого «циліндра».

Аналізуючи існуючий технологічний процес механічної обробки «циліндра» можна відзначити наступне. Заготовку для деталі отримують литтям в піщано-

глинисті форми з подальшим термообробленням (старіння, відпалювання) для зняття внутрішніх напружень після операції лиття. Такий метод отримання заготовки є досить простим і дешевим, але як відомо, при литті в піщані форми мають місце великі напуски й припуски, при цьому собівартість подальшої механічної обробки заготовки значно зростає. В якості альтернативного способу отримання заготовки слід розглядати лиття в багаторазові форми, наприклад, кокіль, що цілком відповідає серійному типу виробництва.

Після отримання позитивних результатів технічного контролю, на якому виконується аналіз якості матеріалу виливки та геометричних параметрів заготовки, виконується горизонтально-розточувальна операція, на якій виконується чорнова й чистова обробка центрального отвору і одного з торців заготовки, які в подальшому будуть використовуватися як технологічні (чистові) бази на інших операціях механічної обробки. Також слід зазначити дотримання принципу поетапності на токарних операціях і в цілому, по ходу маршруту механічної обробки заготовки, коли спочатку виконується обробка поверхонь начорно, а далі – півчистова і чистова обробка, що відповідає загальноприйнятим рекомендаціям щодо складання маршрутів технологічних процесів. Фінішна обробка центрального циліндричного отвору  $\varnothing 72H7$  хонінгуванням виконується в кінці технологічного процесу виготовлення деталі, що також підтверджує сказане.

Виняток при цьому складають радіально-свердлильні операції з обробки гладких і різьбових отворів, які виконуються з розмірної точністю від IT14 до IT7. Однак обробка зазначених отворів в наведеному порядку (див. таблицю 1.7) – захід вимушений, тому що в даному випадку методи обробки поверхонь групуються за типами технологічного обладнання.

Завершується обробка заготовки слюсарною, випробувальною операціями, операцією нанесення покриттів та контрольною операцією, що носять допоміжний характер.

За даним технологічним процесом заготовка відповідає кресленням щодо фактичних припусків на обробку. Всі технічні вимоги здійсненні. Як чорнові

технологічні бази спочатку обрані зовнішні циліндричні поверхні заготовки та її торець.

Подальший аналіз існуючого технологічного процесу і порівняння його з типовим показує, що він складений узагальнено, без поопераційного опису (без чіткого зазначення структури операцій: установів, переходів, технологічної оснастки, режимів різання й операційних ескізів), про що вже говорилося раніше. Так, на розточувальній, токарній, радіально-свердлильній операціях до кінця не зрозуміло, як необхідно базувати заготовку. На токарних операціях не зазначена послідовність обробки поверхонь, а глибина різання відзначається узагальнено з формулюванням «... точити поверхні з припуском 2 мм на сторону».

Слід зазначити, що кількість етапів при обробці таких точних поверхонь, як центральний отвір  $\varnothing 72H7$ , є цілком достатньою: чорнове розточування, півчистове, чистове розточування, фінішна обробка (хонінгування).

В даному заводському технологічному процесі перед свердлильними операціями використовують ручне розмічування, що за умови його виключення, за рахунок застосування верстатів з ЧПК, є резервом вдосконалення у проєктованому технологічному процесі. Застосування спеціальних верстатних пристосувань дозволить повністю відмовитися від операцій розмічування й уникнути ручної праці, що характеризується низькою продуктивністю та високою кваліфікацією робітників.

На всіх операціях базового технологічного процесу використовується універсальне устаткування й технологічне оснащення без використання засобів автоматизації та з часткових використанням засобів механізації. Тут для підвищення рівня механізації й автоматизації виробництва бажаним є ширше використання верстатів з ЧПК, можливо, навіть багатоцільових обробних центрів з ЧПК, які в заводському технологічному процесі повністю відсутні. Це дозволило б знизити кваліфікацію робітників і підняти продуктивність обробки, повністю усунувши ручну працю. При цьому, є можливість дотримання принципів постійності технологічних баз: лезова обробка всіх циліндричних поверхонь

здійснюється в патроні по зовнішній поверхні або на розтискній оправці по центральному отвору з упором в торець.

Таким чином, базування, використовуване обладнання та оснащення відповідають заданій програмі випуску й прийнятій формі організації робіт. Верстати розташовуються за видами обладнання. Заготовки встановлюються на верстати і транспортуються між операціями вручну за допомогою візків.

Необхідно відзначити, що металорізальні верстати, що використовуються в базовому технологічному процесі на цей час є морально і фізично застарілими, що створює об'єктивні труднощі щодо забезпечення необхідної якості оброблюваних поверхонь заготовки.

У заводському технологічному процесі в якості ріжучого інструменту застосовується універсальний нормалізований інструмент: прохідні, підрізні й розточувальні різці, оснащені пластинками твердого сплаву ВК8, ВК6М, спіральні свердла, мітчики зі швидкорізальної сталі Р6М5. В якості вимірювального інструмента застосовується, в основному, універсальний шкальний інструмент у вигляді штангенциркулів, мікрометрів, індикаторних головок, а також зразки шорсткості, а для контролю точності розмірів по ІТ7 й ІТ9 застосовуються також і граничні калібри, що, однак, є небажаним для умов дрібносерійного виробництва. Все це, в загальному, дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь «циліндра», як по точності розмірів, так і по точності їх форми і взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості. У той же час, як показує наведений вище аналіз, в заводському технологічному процесі механічної обробки «циліндра» є резерви для його вдосконалення, про що буде сказано в розділі з проектування «перспективного» технологічного процесу виготовлення деталі.

## 1.6 Висновок

В результаті аналізу існуючого технологічного процесу виготовлення «циліндра III ступені» можна зробити такі висновки:

1. Основним недоліком існуючої технології є велика частка праці, що виконується вручну: операції розмічування, вивіряння під час установки заготовки, закріплення заготовки з використанням ручних приводів затискання тощо. Операції розмічування мають бути усунені з технологічного процесу повністю. Ручні приводи затискання заготовки мають бути замінені механізованими (наприклад пневматичними) приводами. Вивіряння положення заготовки можна компенсувати шляхом впровадження верстатних пристроїв установчі елементи яких мають бути адаптовані під конфігурацію оброблюваної заготовки.

2. Використання фізично і морально застарілих моделей металорізального устаткування є неприйнятним. Більшість використовуваних моделей верстатів мають бути замінені на сучасні зразки високопродуктивного обладнання з ЧПК.

3. Структура і параметри більшості технологічних операцій не відповідають вимогам сучасних технологій машинобудування і мають бути переглянуті.

Усунення виявлених недоліків існуючої технології дозволить підвищити продуктивність, знизити собівартість виготовлення деталі та стабілізувати технологічний процес обробки заготовки з точки зору забезпечення технічних вимог креслення виробу.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки

Метод одержання вихідної заготовки має суттєвий вплив на техніко-економічні показники технологічного процесу виготовлення виробу. Правильний вибір способу отримання заготовки дозволить суттєво знизити трудомісткість механічного оброблення, підвищити коефіцієнт використання матеріалу.

Вибір методу одержання вихідної заготовки залежить від низки факторів, таких як матеріал виробу, його призначення і технічні вимоги на виготовлення, обсяг випуску виробів, конфігурація виробу, форма поверхонь і розміри виробу. Вид заготовки зазвичай встановлюють шляхом техніко-економічного порівняння декількох альтернативних варіантів [1, 2].

Основною умовою раціональності технології є максимальне наближення форми й точності заготовок до форми готового виробу. Вибір способу отримання заготовки в багатьох випадках визначає маршрут виготовлення деталі [1, 2].

За базовим варіантом технологічного процесу заготовку отримують методом лиття у разові піщано-глинисті форми. Такі заготовки зазвичай характеризуються низькою точністю розмірів, високими параметрами шорсткості, великими припусками на механічне оброблення, великими напусками. Вартість виготовлення виливка є мінімальною, але вартість його подальшого механічного оброблення є більшою, ніж для заготовок, отриманих іншими методами литва.

Метод одержання заготовки має бути максимально економічним для заданого обсягу випуску виробів.

Як альтернативний спосіб отримання виливка розглянемо литво у кокіль – металеві форми, які заповнюються розплавом під дією сил тяжіння. На відміну від разової піщано-глинистої форми кокіль можна використовувати багаторазово. Тож, сутність литва у кокіль полягає у використанні металевих сплавів для виготовлення

ливарних форм, що використовуються багаторазово, та металеві частини яких складають їх основу і формують конфігурацію та властивості виливка.

Кокіль зазвичай складають з двох півформ, плити та вставок. Півформи підлягають взаємному центруванню штирями. Перед заливкою їх з'єднують замками. Розміри робочої порожнини кокілю мають бути більшими за розміри виливка на величину усадки сплаву. Порожнини та отвори в литві виконують з використанням металевих або піщаних стрижнів, які вилучають з виливка вже після його остаточного затвердіння та охолодження до визначеної температури. Розплав заливають до кокілю через спеціальну «литникову» систему, яку розміщують в його стінках. При цьому живлення масивних вузлів виливка здійснюється за рахунок прибутків. Під час заповнення кокілю розплавом повітря й газу видаляються з його порожнини через вентиляційні канали та пробки, що утворюють вентиляційну систему кокілю. Основні елементи кокілю (півформи, плити, вставки, стрижні) зазвичай виготовляють з чавуну або сталі.

Ефективність лиття у кокіль зазвичай визначають порівняно з литтям в піщано-глинисті форми. Економічний ефект перш за все досягається завдяки усуненню формувальної суміші, підвищенню якості виливків, їх точності, зменшення припусків на оброблення, зниження трудомісткості очищення та обдування виливків, механізації та автоматизації основних операцій та, як наслідок, підвищенню продуктивності, поліпшенню умов праці.

Лиття у кокіль можна віднести до праце- і ресурсозберігаючих, малоопераційних й маловідходних процесів, що поліпшують умови праці у ливарних цехах і зменшують шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Остаточний висновок про раціональність способу одержання заготовки зробимо після економічного обґрунтування за альтернативними варіантами.

Собівартість виливок можна визначити за відомою формулою [2]:

$$S_{\text{заг}} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \left( \frac{S_{\text{дох}}}{1000} \right), \quad (2.1)$$

де  $C_i$  – базова вартість 1 т заготовок, грн;  
 $k_T$  – коефіцієнт, що залежить від класу точності виливка;  
 $k_C$  – коефіцієнт, що залежить від групи складності виливка;  
 $k_B$  – коефіцієнт, що залежить від маси виливка;  
 $k_M$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу виливка;  
 $k_{\Pi}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок;  
 $Q$  – маса виливка, кг;  
 $q$  – маса готової деталі, кг;  
 $S_{вдх}$  – вартість 1 т відходів, грн.

Для лиття у піщано-глинисті форми з ручним формуванням коефіцієнти мають такі значення [2]:

- $k_T = 1,0$  – для 3-го класу точності;
- $k_C = 0,7$  – для 1-й групи складності виливок з чавуну;
- $k_B = 0,84$  – для чавунного виливка масою 10 – 20 кг;
- $k_M = 1,0$  – для виливок з сірого чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85;
- $k_{\Pi} = 1,0$  – для 3-ї групи серійності при річній програмі випуску 200 штук.

Вартість 1 т чавунного литва у піщано-глинисті форми дорівнює:  $C_1 = 23600$  грн; вартість відходів з сірого чавуну дорівнює:  $S_{вдх} = 2600$  грн; маса заготовки:  $Q_1 = 18$  кг; маса готової деталі:  $q = 15$  кг. Тож собівартість отримання виливка у піщано-глинисті форми визначимо за формулою (2.1):

$$S_{заг1} = \frac{23600}{1000} \cdot 18 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 - (18 - 15) \cdot 1600 / 1000 \approx 242 \text{ грн.}$$

Для лиття у кокіль коефіцієнти матимуть такі значення:

- $K_T = 1,0$  – для 3 класу точності виливка;
- $K_C = 0,7$  – для 1-й групи складності виливок із чавуну;
- $K_B = 0,84$  – для чавунних виливок масою 10 – 20 кг;
- $K_M = 1,0$  – для виливок із чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85;
- $K_{\Pi} = 1,0$  – для 3-ї групи серійності при річній програмі випуску 200 штук.



Вартість 1 т чавунного литва у кокіль дорівнює:  $C_2 = 25200$  грн; маса заготовки:  $Q_2 = 16$  кг. В результаті за формулою (2.1) собівартість виливка у кокіль становитиме:

$$S_{\text{зар}2} = \frac{25200}{1000} \cdot 16 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 - (16 - 15) \cdot 2600/1000 \approx 234,5 \text{ грн.}$$

Вартість литва у піщано-глинисті форми незначно перевищує вартість литва у кокіль. Тож зупинимо свій вибір щодо способу отримання заготовки на другому варіанті – литво у кокіль.

Припуски і допуски для заготовки, що отримують литвом у кокіль визначимо відповідно до ГОСТ 26645-85 [3]:

1. Метод литва – у кокіль.
  2. Клас розмірної точності виливка – 7т...11т, беремо – 11т [3, табл. 9].
  3. Степінь короблення елементів виливка – 4...7, беремо – 7 [3, табл. 10].
  4. Степінь точності поверхонь – 7...12, беремо – 12 [3, табл. 11].
  5. Шорсткість поверхонь виливка за критерієм  $Ra = 25$  мкм.
  6. Клас точності мас в залежності від способу отримання виливка – 5...12. Беремо – 10 [3, табл. 13].
  7. Допуск зміщення виливка по площині роз'єму виливка – 2,2 мм [3, розділ 2.7].
  8. Ряд припусків 4...7, беремо – 6 (для нижніх поверхонь), 7 (для верхніх поверхонь) [3, табл. 14].
  9. Допуск нерівностей поверхонь виливка – не більше 0,64 мм [3, табл. 3].
- Розрахунок розмірів заготовки для зручності наведемо у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення розмірів виливка, у міліметрах

№ поверхні	Номін. розмір елемента деталі (середній розмір)	Допуск на розмір	Допуск форми поверхні	Загальний допуск	Вид мех. обробки	Ряд припусків	Величина припуску (на бік)	Результуючий розмір елемента заготовки
1	Ø72	3,6	0,80	4,0	Чистова	6	2,8	66,4±2,0
2	Ø96	3,6	0,50	4,0	Чистова	6	2,8	90,4±2,0
3	Ø110	4,0	0,50	4,0	Чорнова	6	1,8	106,4±2,0
4	Ø125	4,0	0,50	4,0	Тонка	6	3,1	131,2±2,0
5	100	3,6	0,50	4,0	Чорнова	7	3,2	103,2±2,0
6	242	4,5	0,64	5,0	Чорнова	6	2,3	246,6±2,5
7			0,64		Чорнова	6		
6	8	2,0	0,64	2,2	Чорнова	6	2,3	7,3±1,1
8			0,64		Чистова	6		
6	25	2,4	0,64	2,4	Чорнова	6	2,3	25,2±1,2
9			0,50		Чорнова	6		

## 2.2 Розробка раціонального маршруту оброблення заготовки

Розробка технологічного процесу оброблення заготовки ґрунтується на аналізі вихідних даних, зокрема, аналізі службового призначення всіх поверхонь деталі, аналізі технічних вимог, що пред'являють до конструкції деталі, умов її експлуатації, аналізі технологічності конструкції деталі та аналізі існуючого технологічного процесу механічного оброблення заготовки (див. розділ 1 цієї роботи).

Попередній аналіз можливих методів оброблення елементарних поверхонь (МОЕП) «циліндра», зокрема, центрального циліндричного отвору Ø72H7, показав, що в існуючому варіанті технологічного процесу для отримання точності поверхні по IT7 ( $Ra = 0,8$  мкм) передбачено обробку в 4 етапи: чорнове, півчистове, чистове розточування і хонінгування. Оброблення зовнішньої циліндричної поверхні Ø125f7 виконується в 3 етапи: чорнове, півчистове й чистове точіння.

У заводському технологічному процесі, в основному, під час оброблення поверхонь «циліндра» дотримується принцип поетапності. Разом з тим, лезова

обробка отворів  $\varnothing 19H14$  і отворів під подальше нарізання різі по IT12 є порушенням цього принципу, що, однак, можна вважати вимушеним кроком.

Як вже зазначалося раніше, в заводському технологічному процесі використовується застаріле універсальне металорізальне обладнання. Зокрема, на токарних операціях використовують токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20, а на свердлильній – радіально-свердлильний верстат моделі 2М55. У проектованому технологічному процесі механічного оброблення «циліндра» слід ширше використовувати верстати з ЧПК, що дозволить усунути попереднє ручне розмічування, особливо на свердлильних операціях, та сприятиме підвищенню продуктивності обробки, зниженню її собівартості.

З урахуванням висловлених пропозицій побудуємо матрицю технологічного процесу механічної обробки «циліндра», див. таблицю 2.2. Для цього спочатку скористаємося нумерацією поверхонь деталі, наведеною на малюнку 1.2 цієї роботи. Потім визначимо етапи обробки поверхонь з урахуванням раніше визначених МОЕП і в таблиці 2.2 навпроти оброблюваних поверхонь по кожному етапу обробки та методу обробки поставимо знак «+». У підсумку буде отримано так звану матрицю технологічного процесу, на основі якої зазвичай визначають укрупнені операції технологічного процесу, що відповідають перерахованим етапам обробки: E1, E3, E4, E6, E8, E10. Таким чином, проектований технологічний процес механічної обробки «циліндра» складається з 6-ти укрупнених операцій. При цьому у розглянуту матрицю не входять слюсарні та контрольні операції, операції з маркування заготовки. Так, структура проектованого технологічного процесу виготовлення деталі практично повністю повторює базовий варіант.

Аналіз укрупнених операцій, зокрема, операції E4, показує, що цю операцію не можна реалізовувати на одному верстаті через відмінності в методах обробки: точіння, розточування, свердління, зенкування, фрезерування. Тому поділяємо цю укрупнену операцію на: токарну, виконувану на токарному верстаті з ЧПК, та комплексну, виконувану на багатоцільовому верстаті з ЧПК. При цьому зробимо певний перерозподіл завантаження аналізованих операцій.



Для зручності реалізації технологічного процесу виготовлення деталі виконаємо чорнове, півчистове й чистове розточування центрального отвору  $\varnothing 71,8H8$  на одній механічній операції – розточувальній з ЧПК.

Чорнове, півчистове й чистове точіння поверхні  $\varnothing 125f7$  також виконаємо на одній механічній операції – токарній з ЧПК. При цьому базування заготовки будемо здійснювати за раніше обробленим начисто центральним отвором  $\varnothing 71,7H8$  з упором в торець.

Прийняті технологічні рішення можуть бути легко реалізовані, тому що сучасне технологічне обладнання дозволяє поєднувати різні етапи обробки й забезпечувати при цьому необхідну якість поверхонь деталі. Крім того, концентрація переходів, їх реалізація на одному верстаті, без переустановлення заготовки, дозволяє стабілізувати якість обробки поверхонь шляхом зменшення похибки установки заготовки.

До матриці технологічного процесу, див. таблицю 2.2, не увійшли операції: слюсарна, промивання, отримання покриттів, маркування, технічного контролю. Ці операції завершують технологічний процес виготовлення деталі і повинні бути вказані у проектованому технологічному процесі механічної обробки «циліндра».

«Циліндр» має розвинені, відкриті поверхні, що в повній мірі дозволяє дотриматися як принципу сталості баз, так і принципу суміщення баз під час оброблення майже усіх поверхонь деталі. Широке використання верстатів з ЧПК, спеціалізованої оснастки дозволить усунути операції з ручного розмічування, скоротимо і ряд контрольних операцій.

В результаті проведеного аналізу пропонується такий маршрут технологічного процесу механічної обробки «циліндра», див. таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Пропонований маршрут оброблення заготовки

Номер операції	Найменування операції	Вміст операції	Схема базування	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Лиття металів і сплавів	Отримання вилівка у литтям кокіль	-	Машина для лиття
010	Термічна	Нормалізаційне відпалювання для зняття внутрішніх напружень у вилівку	-	Термічна піч
015	Слюсарна	Обрубка литників	-	-
020	Очищення	Очищення поверхонь вилівка (піскострумінне оброблення)	-	-
025	Технічний контроль	Контроль механічних властивостей матеріалу вилівка, контроль геометричних параметрів якості поверхонь вилівка	-	-
030	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Одноразове підрізання торця $\varnothing 160$ , чорнове, півчистове й чистове розточування центрального отвору заготовки до $\varnothing 71,7H8$	По поверхні отвору $\varnothing 110$ (на конічному пальці) з упором в торець $\varnothing 125$	Вертикальний свердильно-фрезерно-розточувальний верстат типу обробний центр V-650
035	Токарна з ЧПК	Чорнове і чистове підрізання торців, точіння зовнішніх циліндричних поверхонь, розточування циліндричних і комбінованих ступенів центрального отвору заготовки з боку квадратного фланця	За центральним отвором $\varnothing 71,7H8$ (на розтискній оправці) з упором в торець $\varnothing 160$	Токарний верстат з ЧПК KTL-S 56

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
040	Токарна з ЧПК	Чорнове і чистове підрізання торців, розточування циліндричних ступенів центрального отвору заготовки, фасок з боку круглого фланця	За центральним отвором $\varnothing 71,7H8$ (на розтискній оправці) з упором в торець $\varnothing 156$	Токарний верстат з ЧПК KTL-S 56
045	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Центрування й свердління 4-х отворів $\varnothing 19H14$ з боку квадратного фланця	За центральним отвором $\varnothing 71,7H8$ (на жорсткій оправці) з упором в торець $\varnothing 160$ й в торець квадратного фланця (по упору)	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат типу обробний центр V-650
050	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Центрування й свердління 4-х отворів $\varnothing 14H12$ з боку круглого фланця, зенкування фасок, нарізання різі M16-7H	За центральним отвором $\varnothing 71,7H8$ (на жорсткій оправці) з упором в торець $\varnothing 156$ , за отвором $\varnothing 19H14$ (на конічному підпружиненому пальці)	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат типу обробний центр V-650
055	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Центрування, свердління, розсвердлювання отвору, цекування отвору $\varnothing 41H14$ , зенкування фаски, нарізання різі M30 $\times$ 2-7H	За центральним отвором $\varnothing 71,7H8$ (на жорсткій оправці) з упором в торець $\varnothing 156$ , по отвору $\varnothing 19H14$ (на конічному пальцю)	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат типу обробний центр V-650

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
060	Хонінгувальна	Хонінгування центрального отвору заготовки $\varnothing 72H7$	За зовнішньою циліндричною поверхнею $\varnothing 125f7$ (по кільцю) з упором в торець $\varnothing 156$ (по торцевій поверхні кільця)	Вертикальний хонінгувальний верстак 3К833
065	Слюсарна	Зняття задирок, заокруглення гострих кромок, калібрування різьбових отворів	-	Верстак
070	Випробування	Гідравлічне випробування заготовки	-	Стенд для випробувань
075	Отримання покриттів	Нанесення захисного покриття на неробочі поверхні заготовки	-	Стенд для нанесення покриттів (фарбування)
080	Технічний контроль	Контроль якості поверхонь деталі	-	Стіл ВТК

Як видно з таблиці 2.3, в новому варіанті технологічного процесу механічної обробки «циліндра» порівняно з заводським технологічним процесом практично немає змін щодо маршруту обробки, див. таблицю 1.7. Кількість операцій скорочено на одну (усунена операція розмічування).

У новому технологічному процесі передбачається повсюдне використання верстатів з ЧПК і верстатних пристроїв з механізованим приводом закріплення заготовки, що дозволить підвищити стабільність показників точності оброблюваних поверхонь заготовки, скоротити витрати часу на установку і зняття заготовок, витрати часу на керування обладнанням, витрати часу на зміну інструменту (в автоматичному режимі), покращить умови праці робітників.



### 2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку поверхні обертання

Відповідно до завдання необхідно визначити операційні припуски й розміри на оброблення циліндричного отвору діаметром 72Н7. Розрахунок виконаємо за методикою проф. Кована В. М. [2].

В основі методики проф. В. М. Кована знаходиться розрахунок величини мінімального операційного припуску (на поточний (і-й) перехід (етап) оброблення), до складу якого входять величини шорсткості поверхні  $Rz_{i-1}$  отриманої на попередньому переході (і-1), глибина дефектного шару  $H_{i-1}$ , отримана на попередньому переході (і-1), сумарна величина просторових відхилень  $\rho_{i-1}$ , отримана на попередньому переході (і-1), а також похибка установки заготовки  $\varepsilon_i$ , що має місце на поточному (і-му) переході оброблення поверхні:

$$2Z_{\min_i} = 2 \left( Rz_{i-1} + H_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right),$$

Маршрут обробки поверхні діаметром 72Н7 включає в себе 5 механічних операцій (переходів) з урахуванням операції на отримання заготовки:

- 1) вилівок (лиття у кокіль);
- 2) чорнове розточування;
- 3) чистове розточування;
- 4) тонке розточування;
- 5) хонінгування.

Вихідні дані для розрахунку величини мінімального припуску по переходах наведемо у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку мінімальних припусків, у мікрометрах

	Квалітет точності, мм	Шорсткість Rz	Глибина дефектного шару H	Величина просторових відхилень ρ	Похибка установки заготовки ε
Виливок	±2	400	400	1600	-
Чорнове розточування	12 (+0,3)	80	80	96	-
Чистове розточування	10 (+0,12)	50	50	80	-
Тонке розточування	8 (+0,046)	8	8	64	-
Хонінгування	7 (+0,030)	4	4	40	-

Розрахунок припусків і операційних розмірів виконаємо на ЕОМ. Результати розрахунку наведені у додатку Б цієї роботи.

#### 2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки

Операція 050 комплексна на обробних центрах з ЧПК.

Зміст операції:

А.1 Свердлити 4 отвори  $\varnothing 14^{+0,18}$  мм на глибину  $20^{+1}$  мм з одночасним формуванням фаски  $1,5 \times 45^\circ$ , дотримуючись розміру  $\varnothing 128$  мм.

А.2 Нарізати різь М16-7Н на глибину  $25^{+1}$  мм відповідно до ескізу.

При виборі базових поверхонь перевагу віддаємо поверхням, попередньо обробленим, таким, що характеризуються максимально можливою площею та простотою форми: зовнішня циліндрична поверхня фланця  $\varnothing 125f7$  ( $Ra = 1,6$  мкм) і плоский торець фланця в розмір  $179_{-0,15}$  мм ( $Ra = 3,2$  мкм). Базування по торцю реалізує установчу технологічну базу, заготовка при цьому позбавляється поступального переміщення уздовж центральної осі Z і обертання навколо осей X та Y. Базування по циліндричній поверхні реалізує подвійну опорну технологічну базу (короткий циліндр), заготовка при цьому позбавляється поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Під опорну базу, що позбавляє заготовку повороту навколо центральної осі Z можна

використовувати один з раніше оброблених отворів  $\varnothing 19^{+0,52}$  мм (шорсткість поверхні  $Ra = 12,5$  мкм).

Пропоновану схему базування заготовки подано на рисунку 2.1.

При базуванні за пропонованою схемою для розмірів 20 мм та 25 мм має місце похибка базування (технологічна та вимірювальна бази не збігаються). Тож маємо:

$$E_{b20} = E_{b25} = (T_8 + T_{242}) = 0,36 + 1,15 = 1,51 \text{ мм} > T_{20} = T_{25} = 1 \text{ мм.}$$

Таким чином, подана схема базування заготовки не вирішує завдання забезпечення точності операційних розмірів. Зниження допуску на розмір 242 мм до 12 квалітету точності ( $T_{242h12} = 0,46$  мм) дозволить зменшити похибку базування до 0,82 мм, що можна вважати прийнятним. Оброблення поверхонь по 12 квалітету точності є економічно допустимою при використанні верстатів з ЧПК і не несе в собі великих технічних труднощів.

Під час базування заготовки по зовнішній циліндричній поверхні  $\varnothing 125f7$  з використанням кільця має місце посадка з зазором  $\varnothing 125H7/f7$ , що дає ексцентриситет між центральними осями поверхні кільця і заготовки, при цьому в порушується позиція оброблюваних різьбових отворів [4]. Похибку базування визначимо за формулою

$$\varepsilon_{\delta} = \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta,$$

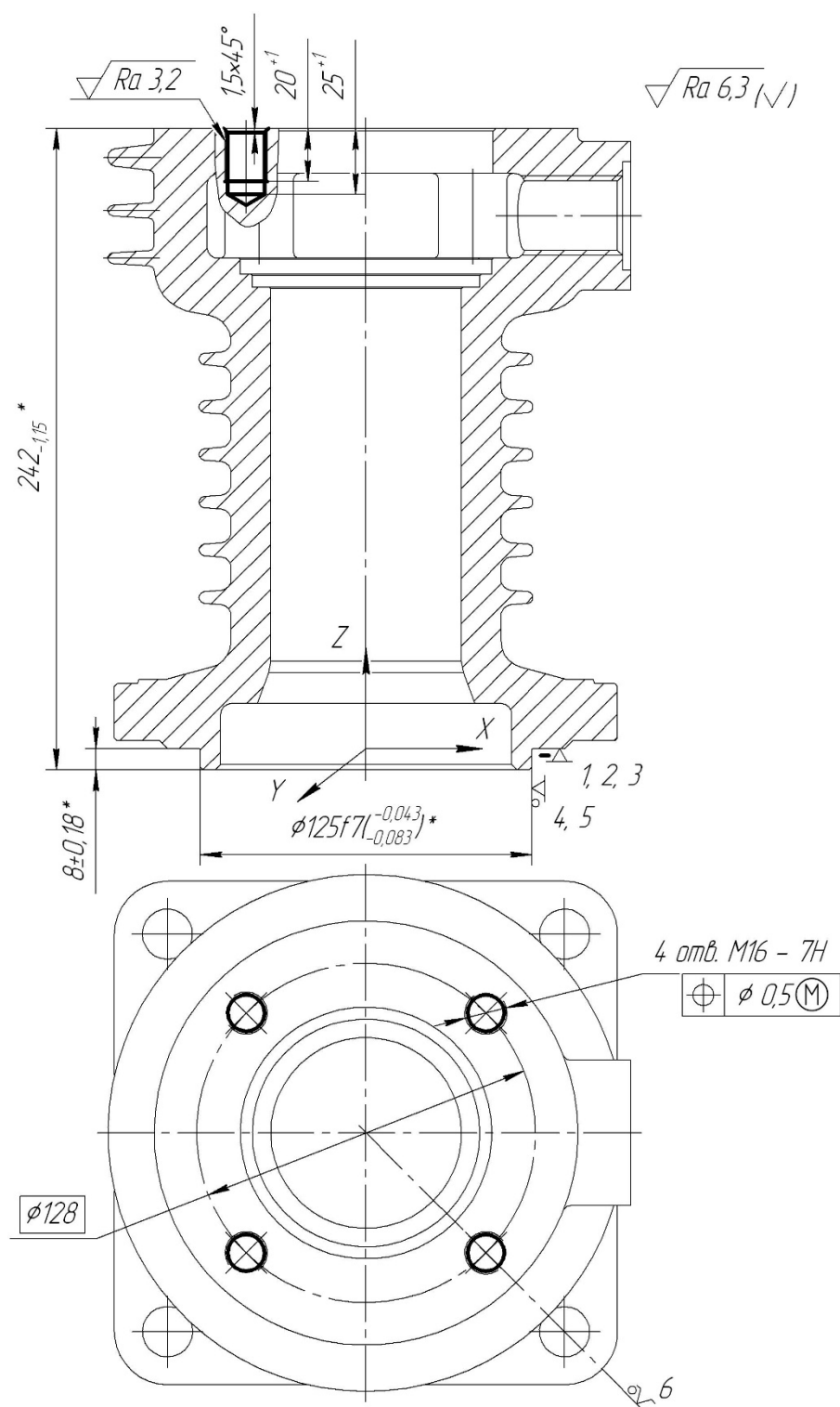
де  $\delta_1$  – допуск на діаметр отвору кільця ( $T_{\varnothing 125H7} = 0,04$  мм);

$\delta_2$  – допуск на діаметр поверхні  $\varnothing 125f7$  ( $T_{\varnothing 125f7} = 0,04$  мм);

$\Delta$  – мінімальний радіальний зазор посадки заготовка-палець ( $S_{\min \varnothing 125H7/f7} = 0,043$  мм).

$$\varepsilon_{\delta} = 0,04 + 0,04 + 2 \cdot 0,043 = 0,166 \text{ мм.}$$

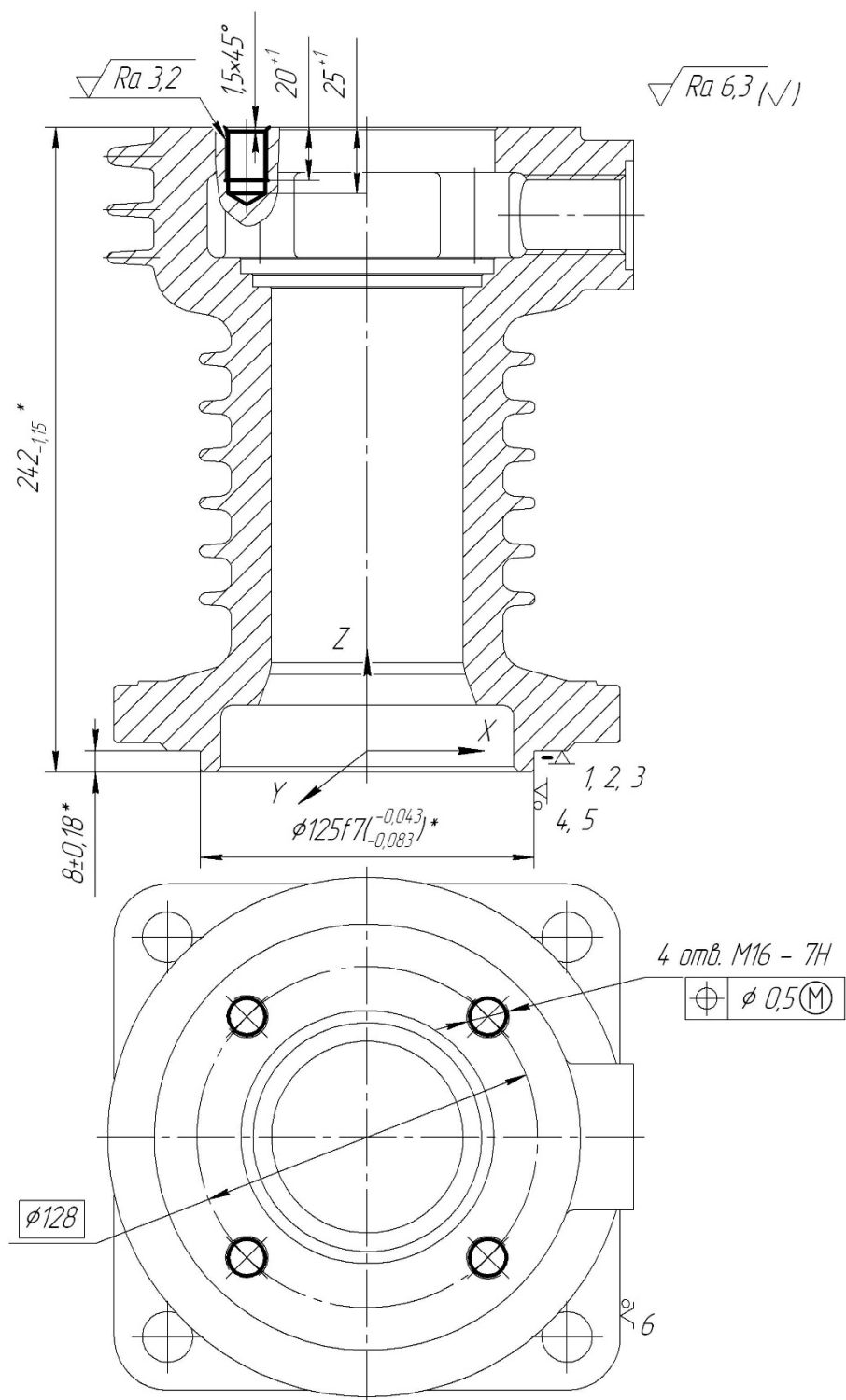
Таким чином, позиція оброблених отворів може екцентриситету розмірі 0,166 мм відносно центральної осі заготовки.



\* Розміри для довідок

Рисунок 2.1 – Схема базування заготовки на операції 050

Альтернативна схема базування заготовки подана на рисунку 2.2. На цій схемі базування опорну базу встановлено на необроблюваній поверхні квадрата фланця, що не є оптимальним рішенням на наш погляд.



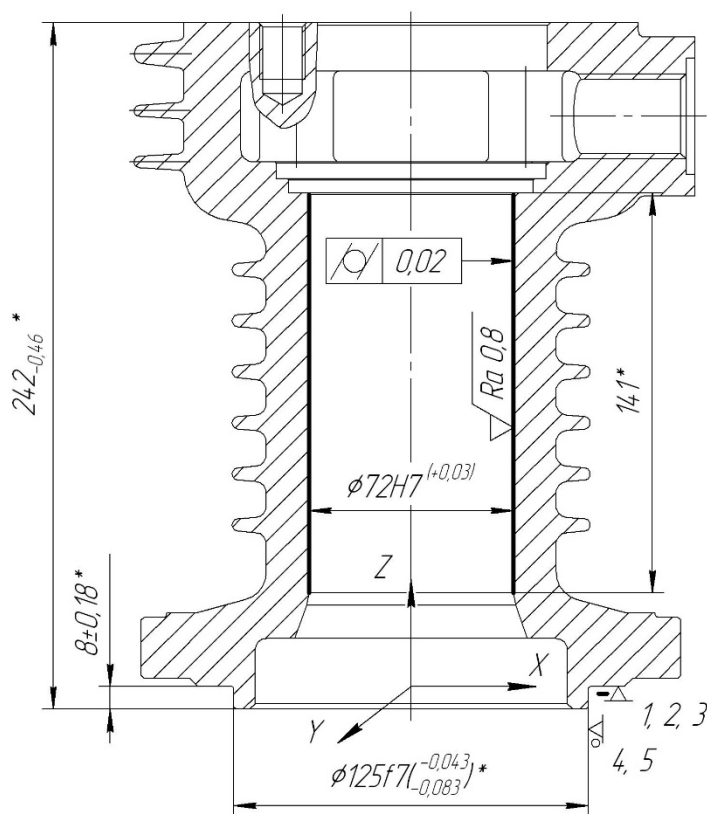
\* Розміри для довідок

Рисунок 2.2 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 050

Операція 060 хонінгувальна.

Зміст операції: хонінгувати отвір  $\varnothing 72H7$  ( $Ra = 0,8$  мкм).

Під час хонінгування заготовку встановлюють по зовнішніх циліндричних поверхнях у кільцях і затискають ними з метою фіксації. Оброблюваний отвір хонінгують напрохід. Наявність зазору в посадці між базовою поверхнею й кільцем дає похибку базування у радіальному напрямку, однак цю похибку базування можна не враховувати, тому що під час хонінгування ріжучий інструмент (хон) самоустановлюється у раніше обробленому отворі – позиція отвору щодо інших поверхонь заготовки не змінюється. Розмір самого отвору формується залежно від особливостей налагодження хона й тривалості процесу хонінгування. Таким чином під час хонінгування буде реалізовано схему базування, подану на рисунку 2.3.



\* Розміри для довідок

Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки на операції 060

Відповідно до вибраної схеми базування по торцю заготовки реалізується установча база, при цьому заготовка позбавляється поступального переміщення уздовж центральної осі Z і обертання навколо осей X і Y. Під час базування за циліндричною поверхнею реалізується подвійна опорна база (короткий циліндр), заготовка позбавляється поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Вакантним залишається обертання навколо осі Z (центральної осі деталі).

## 2.5 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

Операція 050 комплексна на обробних центрах з ЧПК. Вибір верстата на технологічну операцію слід виконувати з урахуванням методів оброблення поверхонь, габаритних розмірів заготовки, пропонованої схеми базування і закріплення заготовки, можливостей розміщення верстатного пристрою, наявності магазину інструментів з системою його автоматичної зміни, обсягу інструментального магазину, потужності приводів верстата тощо.

З урахуванням сказаного пропоную використовувати на цій операції вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат типу обробний центр з ЧПК моделі V-650 (LeaderWay). Характеристику зазначеного верстата наведемо у таблиці 2.5. Оброблювальні центри Leaderway характеризуються високою швидкістю різання, високою точністю позиціонування робочих органів, надійністю, потужністю приводів, достатньою для обробки навіть загартованих сталей. Такі високі показники досягаються завдяки застосуванню прецизійних механічних і електронних комплектуючих фірм Fanuc, Siemens, Heidenhain, Renishaw та інші.

Верстати Leaderway V-серії будують на базі контролера Fanuc, з послідовним інтерфейсом RS-232 і функцією Look-ahead для високошвидкісного фрезерування. За осями XYZ також встановлені приводи Fanuc.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстата моделі V-650

Найменування характеристики	Одиниці вимірювання	Величина
Система ЧПК		Fanuc
Тип направляючих		кочення
<b>Область обробки</b>		
За віссю X	мм	650
За віссю Y	мм	410
За віссю Z	мм	400
Відстань від торця шпинделя до столу	мм	125-625
<b>Стіл</b>		
Розміри столу	мм×мм	770×400
Максимальне навантаження на стіл	кг	300
T-подібні пази	мм	3×18T-125
<b>Шпиндель</b>		
Частота обертання	об/хв	10000
Конус шпинделя		#40
Потужність шпинделя	кВт	7,5/11
<b>Подача</b>		
Швидкість прискореного руху за віссю X	м/хв	24
Швидкість прискореного руху за віссю Y	м/хв	24
Швидкість прискореного руху за віссю Z	м/хв	20
Швидкість різання за віссю XYZ	м/хв	5
<b>Точність</b>		
Повторюваність	мм	0,007
Позиціонування	мм	±0,005
<b>Автоматична зміна інструменту</b>		
Кількість інструментів	№	16(24)
Час зміни від інструменту до інструменту	сек.	8
Час зміни від різу до різу	сек.	14
<b>Різне</b>		
Площа	мм×мм	2850×1900
Вага верстата	кг	4200
Споживання енергії	кВт×А	20

Зазвичай на верстатах V-серії встановлюють шпиндель з максимальною частотою обертання 10000 об/хв і піковою потужністю 11 кВт. За умови, коли верстат використовують для оброблення легкооброблюваних матеріалів, або більшість робіт виконують дрібним інструментом, то можлива установка високочастотного шпинделя (до 12000/15000 об/хв). Для обробки глибоких отворів передбачено установку спеціальних шпинделів підготовленого для подачі MOP всередині інструменту.



Для забезпечення плавності прискорених і робочих переміщень на верстатах V-серії встановлюють загартовані сталеві шліфовані фасонні напрямні кочення.

Стандартна комплектація V-серії забезпечує поставку з інструментальним магазином типу «парасолька» на 16 інструментів, проте, опціонально можлива його заміна на магазин барабанного типу на 24 інструменти. Використання магазину барабанного типу скорочує час зміни інструменту (3,5 сек. від інструменту до інструменту, 7 сек. «від різку до різку»), що сприяє зменшенню допоміжного часу.

Операція 060 хонінгувальна.

З урахуванням обраного методу оброблення поверхні, габаритних розмірів заготовки, розміру оброблюваної поверхні в якості металорізального устаткування пропоную використовувати вертикальний хонінгувальний верстат моделі ЗК833, характеристики якого наведемо в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристика верстата ЗК833

Найменування характеристики	Величина
Діаметр оброблюваного отвору, мм	30...125
Допустимий діаметр оброблюваного отвору, мм	165
Довжина оброблюваного отвору, мм	30...400
Хід шпинделя, мм	500
Відстань від осі шпинделя до направляючих (виліт), мм	300
Розмір робочої поверхні столу, мм	500×1000
Кількість швидкостей шпинделя	3
Частота обертання шпинделя, об/хв	90, 145, 235
Швидкість зворотно-поступального руху (регулювання безступінчасте), м/хв	3...18
Клас точності по ГОСТ 8-82	Н
Габаритні розміри, мм	1295×1145×2755
Маса, кг	1520

## 2.6 Обґрунтування вибору засобів технологічного оснащення

Операція 050 комплексна на обробних центрах з ЧПК.

Верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки – спеціальний з механізованим (пневматичним) приводом закріплення заготовки.

Ріжучий, допоміжний і вимірювальний інструменти, що використовуються на операції, наведемо у таблиці 2.7. При виборі ріжучого інструменту для обробки різьбових отворів перевагу віддаємо універсальним зразкам, оснащеним швидкорізальною ріжучою частиною.

Таблиця 2.7 – Перелік засобів технологічного оснащення на операцію 050 комплексну на обробних центрах з ЧПК [5]

Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Контрольно-вимірювальний інструмент
А.1. Свердли 4 отвори $\varnothing 14^{+0,18}$ мм на глибину $25^{+1}$ з одночасним формуванням фаски $1,5 \times 45^\circ$ , дотримуючись розміру $\varnothing 128$	Свердло 2310-0375 Р6М5 ОСТ 2И20-7-84	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85	-
А.2. Нарізати різь М16-7Н на глибину $20^{+1}$ мм відповідно до ескізу	Мітчик 035-2620-0548 Р6М5 ОСТ 2И52-1-74	Патрон 191221130А ТУ 2-035-975-85, державка 191112041 ТУ 2-035-763-80	Калібр-пробка різьбовий М16-7Н ПР/НЕ ГОСТ 17756-72

Для контролю параметрів різьбових отворів, що представляють собою комплексні поверхні, пропонуємо використовувати калібри-пробки різьбові (див. таблицю 2.7), що дозволить реалізувати комплексний контроль та сприятиме зменшенню допоміжного часу на контрольно-вимірювальні заходи.

Операція 060 хонінгувальна.

Верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки – спеціальний механізований (кільце з механізованими прихватами).

Ріжучий інструмент – стандартна хонінгувальна головка для верстата 3К833, позначення 3К833.100.67.00 (діаметр оброблення (67...72) мм, 4 алмазних бруски).

Брусок – АС6 80/63 50 М2-01 8×5×100 (АС6 – алмаз синтетичний, 80/63 – зернистість (розмір зерна (63...80) мкм), 50 – процентний вміст алмаза, М2-01 – металева зв'язка, 8×5×100 – розміри бруска (мм)).

Вимірювальний інструмент – нутромір мікрометричний НМ-50-75 (ціна поділки 0,01 мм, діапазон вимірювання (50...75) мм).

## 2.7 Розрахунок режимів різання

Операція 050 комплексна на обробних центрах з ЧПК.

Вихідні дані:

- діаметр свердління – 14Н12;
- шорсткість поверхні деталі –  $R_a = 6,3$  мкм;
- матеріал заготовки – СЧ20 ГОСТ 1412-\*;
- ріжучий інструмент – свердло 2310-0375 ОСТ 2И20-7-84;
- матеріал ріжучої частини інструмента – сталь Р6М5.

Розрахунок режимів різання на перехід виконуємо згідно з методикою [6]:

Глибина різання: при свердлінні глибина різання дорівнює  $t = 0,5 \cdot D$ . Для діаметра свердління 14 мм глибина різання становитиме  $t = 7$  мм.

Подача: при свердлінні отворів без обмежуючих факторів обираємо максимально допустиму за міцністю свердла подачу [6]:  $S_o = 0,25$  мм (для діаметра свердла 14 мм і твердості чавуну СЧ20 (НВ 200)).

Швидкість різання: допустиму умовами оброблення швидкість різання визначимо за формулою [6]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де  $C_v = 14,7$ ,  $q = 0,25$ ,  $y = 0,55$ ,  $m = 0,125$  – коефіцієнти та показники степенів, що враховують умови оброблення;

$T = 35$  хв. – стійкість інструмента;

$K_v = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{LV}$  – загальний поправочний коефіцієнт, що враховує властивості оброблювального матеріалу, інструментального матеріалу та глибину свердління.

$$K_{MV} = (190/HB)^{nv} = (190/200)^{1,3} = 0,935.$$

$$K_{IV} = 1,0.$$

$$K_{LV} = 1,0.$$

$$K_v = 0,935 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,935.$$

$$V = \frac{14,7 \cdot 14^{0,25}}{35^{0,125} \cdot 0,25^{0,55}} \cdot 0,935 \cdot 0,6 = 21,936 \text{ м/хв},$$

де  $0,6$  – коефіцієнт, що враховує форму заточування свердла.

Частоту обертання шпинделя визначимо за формулою [6]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 21,936}{\pi \cdot 14} = 498,756 \text{ об/хв}.$$

Беремо частоту обертання шпинделя  $n = 500$  об/хв. Дійсна швидкість різання в такому разі становить  $22$  м/хв.

Крутний момент та осьова сила різання.

Крутний момент під час свердління визначимо за формулою [6]:

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{MP},$$

де  $C_M = 0,021$ ,  $q = 2,0$ ,  $y = 0,8$ ,

$$K_p = K_{MP} = (HB/190)^{np} = (200/190)^{0,6} = 1,031.$$

$$M = 10 \cdot 0,021 \cdot 14^{2,0} \cdot 0,25^{0,8} \cdot 1,031 = 14,002 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Осьову складову сили різання визначимо за формулою [6]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p,$$

де  $C_p = 42,7$ ,  $q = 1,0$ ,  $y = 0,8$ ,

$$P_o = 10 \cdot 42,7 \cdot 14^{1,0} \cdot 0,25^{0,8} \cdot 1,031 \cdot 1,33 = 2,705 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Потужність різання визначимо за формулою [6]:

$$N = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{14 \cdot 500}{9750} = 0,718 \text{ кВт}.$$

Потужність шпинделя привода головного руху з урахуванням коефіцієнта ККД складає 7,5 кВт, що перевищує розрахункове значення  $N = 0,718$  кВт – визначені режими різання можуть бути виконані.

Основний час, що витрачається на свердління 4-х отворів визначимо за формулою:

$$T_o = L \cdot i / S_o \cdot n,$$

де  $L = l + l_{ep} + l_{пер}$ ,

$l = 29$  мм – довжина оброблюваної поверхні;  $l_{ep} = 1$  мм – довжина врізання;  $l_{пер} = 0$  мм – довжина перебігу (для глухого отвору);  $i = 4$  – кількість проходів (за кількістю оброблюваних отворів).

$$T_o = [(29+1+0) \cdot 4] / [0,25 \cdot 500] = 0,96 \text{ хв.}$$

Під час нарізання різі маємо такі режими різання:  $S_o = P = 2$  мм/об ( $P$  – крок різі),  $n = 170$  об/хв,  $V = 8,5$  м/хв,  $L = 25$  мм,  $i = 4$ ,  $T_o = 0,30$  хв.

Машинний час на операцію складає  $T_o = 0,96 + 0,30 = 1,26$  хв.

З урахуванням машинно-допоміжного часу на зміну інструмента, прискорене підведення-відведення інструмента  $T_{м.в} = 1,22$  хв, час автоматичного циклу становитиме  $T_{ц.а} = 1,26 + 1,22 = 2,48$  хв.

Операція 060 хонінгувальна.

При виборі режимів різання на хонінгування отвору  $\varnothing 72\text{H7}$  (матеріал заготовки – чавун СЧ20) скористаємося методичними рекомендаціями [6].

1. Кругову швидкість хонінгувальної головки вибираємо в межах (50 – 70) м/хв. Тож, частота обертання шпинделя верстата буде перебувати в межах (221 – 309) об/хв. Відповідно до паспорта верстата 3К833 беремо частоту обертання шпинделя 235 об/хв. Тоді фактична кругова швидкість шпинделя складатиме  $V_{к.ф} = 53,2$  м/хв.

2. Швидкість зворотно-поступального руху хона беремо у межах (12 – 16) м/хв. Оскільки швидкість зворотно-поступального руху хона на верстаті встановлюють безступінчасто, беремо  $V_{з.п} = 14$  м/хв (відношення  $V_{к}/V_{з.п} = 3,8$ , як відомо, під час хонінгування чавуну раціональним є співвідношення  $V_{к}/V_{к.п} = 3 – 5$ ).

3. Тиск на бруски під час чистового оброблення встановлюємо в межах (6 – 8) МПа.

4. Радіальна подача –  $S_p = 0,8$  мкм/пдв. хід.

5. Хід головки визначимо за формулою

$$L = l_{омв} + 2l_{пер} - l_{бр},$$

де  $l_{омв} = 141$  мм – довжина оброблюваного отвору;

$l_{пер} = 30$  мм – перебіг бруска;

$l_{бр} = 100$  мм – довжина хонінгувального бруска.

$$L = 141 + 2 \cdot 30 - 100 = 101 \text{ мм.}$$

Відповідно до рекомендацій [6] беремо для величини припуску на хонінгування  $H = 0,2$  мм беремо  $T_o = 2,1$  хв.

## 2.8 Технічне нормування операцій

Технічна норма часу на виконання операцій з використанням верстатів з ЧПК при роботі на одному верстаті складається з норми підготовчо-завершального часу  $T_{пз}$  і норми штучного часу  $T_{шт}$  [7]:

$$H_{ч} = T_{шт} + T_{пз} / n, \quad (2.2)$$

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{в} \cdot K_{тв}) \cdot (1 + [a_{тех} + a_{орг} + a_{отл}] / 100), \quad (2.3)$$

де  $T_{ца}$  – час автоматичної циклу роботи верстата згідно з програмою, хв;

$$T_{ца} = T_o + T_{мд}, \quad (2.4)$$

де  $T_o$  – основний час на обробку однієї деталі, хв;

$T_{мд}$  – машинно-допоміжний час згідно з програмою (на підведення та (або) відведення деталі або інструмента від початкових точок до зони оброблення; установку інструмента на розмір, зміну інструмента, зміну величини і напрямку подачі, час технологічних зупинок тощо), хв;

$$T_{д} = T_{д.у} + T_{д.оп} + T_{д.вим}, \quad (2.5)$$

$T_{д.у}$  – час на установку і зняття деталі вручну або з використанням під'ємних механізмів, хв;

$T_{д.оп}$  – допоміжний час, що пов'язаний з операцією (який не увійшов до керуючої програми), хв;

$T_{д.вим}$  – допоміжний час на вимірювання (який не перекривається), хв;

$K_{тв}$  – поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної роботи залежно від партії оброблюваних деталей;

$a_{тех}$ ,  $a_{орг}$ ,  $a_{осп}$  – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, на відпочинок та особисті потреби за умови одноверстатного обслуговування, у відсотках від оперативного часу.

Операція 050 комплексна на обробних центрах з ЧПК.

З п. 2.7 цієї роботи маємо час автоматичного циклу на операцію  $T_{ца} = 2,48$  хв.

Відповідно до рекомендацій [7] маємо:  $T_{д.у} = 1,6$  хв.,  $T_{д.оп} = 0,4$  хв.,  $T_{д.вим} = 0,8$  хв.,  $K_{тд} = 1,0$ .

$$T_{в} \cdot K_{тд} = (1,6 + 0,4 + 0,8) \cdot 1,0 = 2,8 \text{ хв.}$$

Сумарний час на технічне і організаційне обслуговування робочого місця, на відпочинок та особисті потреби складає 14% від оперативного часу.

За умови, що підготовчо-завершальний час складає  $T_{пз} = 36,2$  хв., то за формулами (2.2 – 2.5) маємо:

$$T_{оп} = T_{ца} + T_{д} \cdot K_{тд} = 2,48 + 2,8 = 5,28 \text{ хв.}$$

$$T_{шт} = 5,28 \cdot (1 + 14/100) = 6,02 \text{ хв.}$$

$$H_{ч} = 6,02 + 36,2/19 = 7,93 \text{ хв.}$$



Операція 060 хонінгувальна.

Основний час на операцію відповідно до п. 2.7 цієї роботи складає  
 $T_o = 2,1$  хв.

Допоміжний час згідно з [7]:  $T_{д.у} = 1,2$  хв.,  $T_{д.оп} = 0,8$  хв,  $T_{д.вим} = 1,6$  хв,  
 $K_{тд} = 1,0$ .

$$T_{д} \cdot K_{тд} = (1,2+0,8+0,6) \cdot 1,0 = 2,6 \text{ хв.}$$

Сумарний час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця,  
на відпочинок та особисті потреби складає 10% від оперативного часу.

Підготовчо-завершальний час на операцію становить  $T_{пз} = 28,4$  хв [7].

Тоді:

$$T_{оп} = T_o + T_{д} \cdot K_{тд} = 2,1 + 2,6 = 4,7 \text{ хв.}$$

$$T_{шт} = 4,7 \cdot (1 + 10/100) = 5,17 \text{ хв.}$$

$$H_{ч} = 5,17 + 28,4/19 = 6,67 \text{ хв.}$$

## 2.9 Проектування верстатного пристрою для установки заготовки

Згідно з завданням необхідно виконати розрахунок верстатного пристрою для установки й закріплення заготовки на операції 045 комплексній на обробних центрах з ЧПК. При цьому зміст операції становлять три переходи:

- 1) свердлити 4 отв.  $\varnothing 10H14$  напрохід;
- 2) розсвердлити 4 отв.  $\varnothing 19H14$  напрохід;
- 3) зенкувати фаску  $1 \times 45^\circ$  (4 фаски).

Обґрунтування необхідності створення верстатного пристрою. Обґрунтування вибору системи верстатного пристрою. У пропонованому перспективному технологічному процесі виготовлення деталі комплексну операцію виконують на вертикальному обробному центрі з ЧПК моделі V-650. Оброблення отворів здійснюється з використанням спіральних свердел зі швидкорізальної сталі Р6М5, фаски оброблюють конічною зенківкою (матеріал ріжучої частини – Р6М5).

У базовому технологічному процесі виготовлення деталі оброблення отворів виконується з використанням попереднього розмічування. Кваліфікація робочих – 4 – 5 розряд. Застосування спеціального пристрою з механізованим приводом дозволить знизити розряд верстатників на операції до 3 – 4 розрядів, знизить трудомісткість обробки, підвищить стабільність точності оброблюваних поверхонь заготовки. Тож орієнтовно обираємо систему універсальних безналагоджувальних пристроїв (УБП).

Розроблення схеми базування заготовки. До даного етапу технологічного процесу виготовлення деталі виконане остаточне оброблення ступені  $\varnothing 96H9$  ( $R_a = 3,2$  мкм) центрального отвору й торцевої поверхні фланця  $\varnothing 160h14$  ( $R_a = 6,3$  мкм). Ці поверхні є досить розвиненими з точки зору протяжності, площі, параметрів точності й можуть використовуватися як технологічні бази на розглянутій операції. Так, при базуванні заготовки за центральним отвором  $\varnothing 96H9$  реалізується подвійна опорна база: заготовка позбавляється поступальних

переміщень уздовж осі X й осі Y (див. рисунок 2.4). Під час базування заготовки по торцю фланця реалізується установча база: заготовка позбавляється поступального переміщення уздовж осі Z й обертання навколо осі X та осі Y. Обертанню навколо осі Z перешкоджає опорна база, яка реалізується по боковій поверхні квадратного фланця. Тож заготовка позбавляється усіх 6-ти ступенів вільності.

Аналіз якості базових й оброблюваних поверхонь показує їх відносну рівнозначність.

Розробка і обґрунтування схеми закріплення заготовки. Покажемо на рисунку 2.5 сили різання, що діють на заготовку з боку процесу різання, та сили закріплення (сили тертя), що необхідні для забезпечення постійності положення заготовки.

Попередній розрахунок елементів режимів різання дозволив установити, що найбільш напруженим є перший перехід розглянутої комплексної операції (найбільші сили та моменти різання спостерігаються під час свердління отвору  $\varnothing 10H14$ ), при цьому реалізуються такі режими різання: глибина різання  $t = 5$  мм, осьова подача  $S_o = 0,3$  мм/об, швидкість різання  $V = 25,12$  м/хв, частота обертання шпинделя  $n = 800$  об/хв, тангенціальна складова сили різання  $P_z = 600$  Н.

Визначимо крутний момент, який передається заготовці тангенціальною складовою сили різання. Якщо складова сили різання  $P_z$  прикладена на відстані  $H = 115$  мм від центральної осі заготовки, то гранична величина крутного моменту становитиме  $M_{кр} = P_z \cdot H = 600 \cdot 0,115 = 69$  Н·м.

Силовий розрахунок пристосування. Досягнуте під час базування положення заготовки фіксується силою закріплення  $P_3$ , яку прикладено до верхнього торця заготовки і розподіляється рівномірно по всій його поверхні. Сили закріплення  $P_3$  буде посилювати дію осьової складової сили різання  $P_o$  (див. рисунок 2.5), яка спостерігається під час свердління і зенкування отворів, та яка притискає заготовку до установчої поверхні пристрою. Під час оброблення отворів свердлінням осьова складова сили різання  $P_o$  становить 1800 Н.

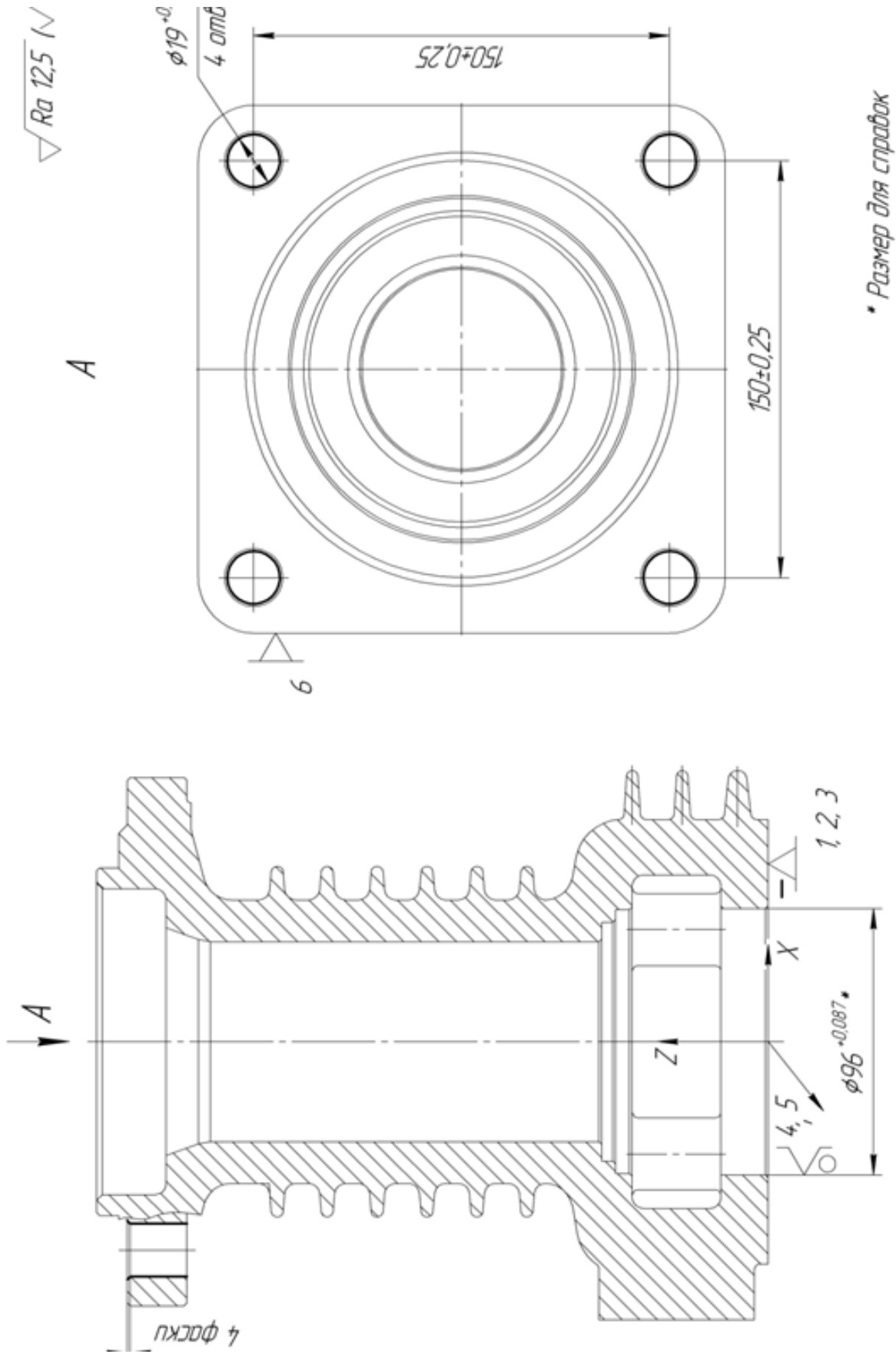


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції 045

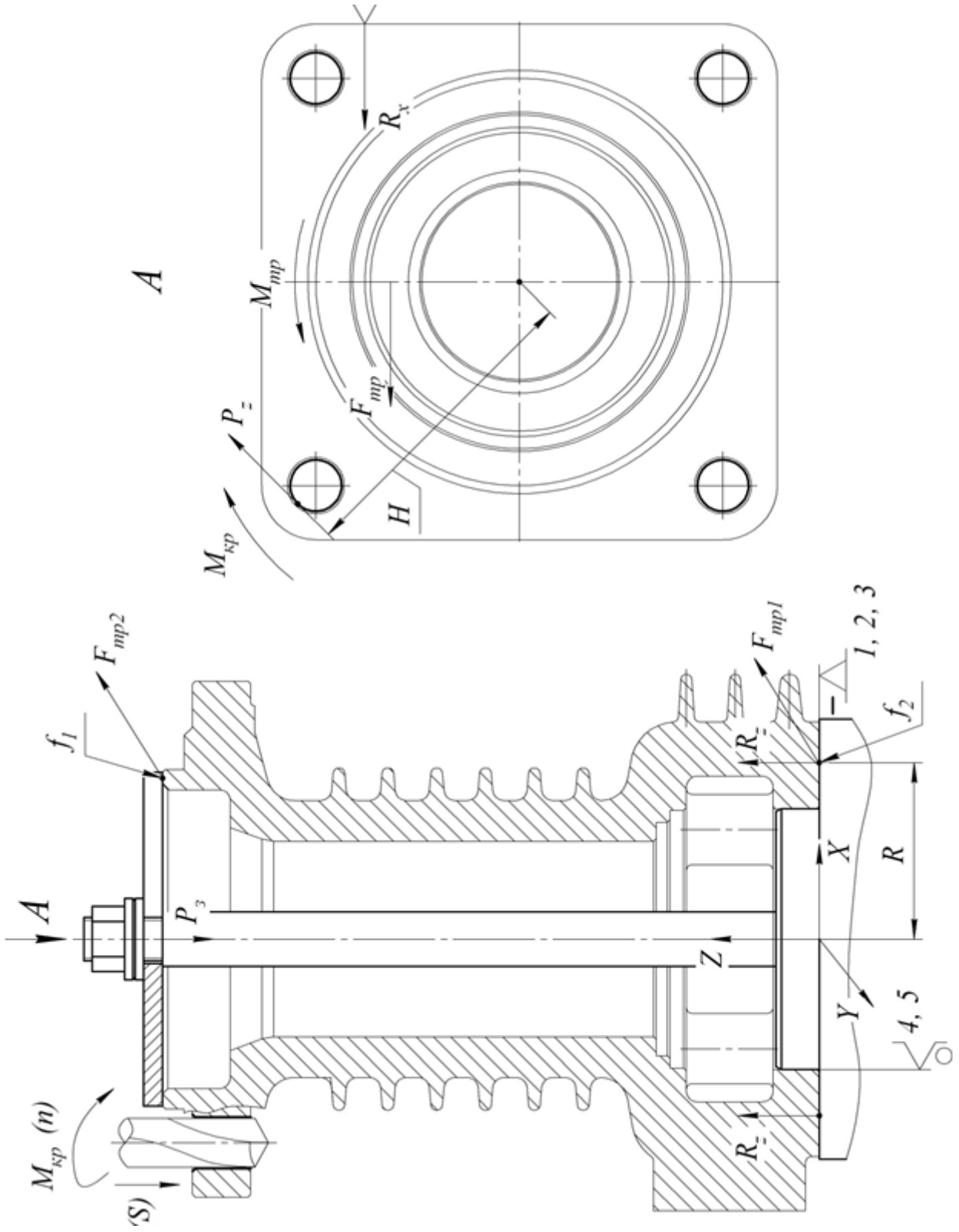


Рисунок 2.5 – Схема дії сил різання і закріплення на заготовку

Сила закріплення  $P_3$  за рахунок створює сили тертя  $F_{тр}$  (коефіцієнти тертя  $f_1$  і  $f_2$ ) що виникають у місцях контакту заготовки з установчими поверхнями пристрою й затискним механізмом (шайбою).

Як джерело сили закріплення  $P_3$  пропонується використовувати пневмокамеру (діафрагмовий пневмоциліндр).

Розрахунок затискного механізму здійснюємо для умов рівноваги силових факторів, що діють на заготовку.

Заготовка може бути зміщена дією крутного моменту  $M_{кр}$  під час свердління отвору. Моменту  $M_{кр}$  мають протидіяти моменти тертя через сили тертя  $F_{тр}$ . Тоді силу закріплення визначимо за формулою

$$P_3 = \frac{2 \cdot k \cdot M_{кр}}{d_{cp} \cdot (f_1 + f_2)}, \quad (2.6)$$

де  $k = 3,24$  – коефіцієнт запасу, необхідний для надійного закріплення заготовки [6].

$M_{кр}$  – найбільший крутний момент, який має місце при свердлінні отвору  $\varnothing 10$  мм;

$$d_{cp} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2} = \frac{160 + 96}{2} = 128 \text{ мм} = 0,128 \text{ м} - \text{середній діаметр установчої}$$

заготовки, по якій вона контактує з опорною поверхнею пристрою;

$f_1 = f_2 = 0,16$  – коефіцієнти тертя, що мають місце у місцях контакту заготовки з опорами і затискними елементами верстатного пристрою [6].

За формулою (2.6) маємо

$$P_3 = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 69}{0,128 \cdot (0,16 + 0,16)} = 8423 \text{ Н.}$$

З урахуванням осьової складової сили різання  $P_o = 1800$  Н, сила закріплення, що утворюється механізованим приводом становитиме 6623 Н.

Визначимо робочий діаметр резинотканинної мембрани (діафрагми) двосторонньої дії за формулою [6, 8]:

$$D = \sqrt{\frac{P_3}{0,196 \cdot p}} - d = \sqrt{\frac{6623}{0,196 \cdot 0,4}} - 120 = 171 \text{ мм},$$

де  $p = 0,4$  МПа – тиск стисненого повітря у пневматичній мережі;

$d = 120$  мм – діаметр опорної шайби (диска).

Беремо діаметр пневмокамери  $D = 180$  мм. Тоді зусилля на штоку пневмокамери складатиме 7056 Н.

Визначимо величину  $S$  – товщину мембрани з урахуванням параметрів міцності її матеріалу згідно з [9]:

$$S = \frac{D}{4} \sqrt{\frac{3 \cdot p}{\sigma_{\max}}} = \frac{180}{4} \sqrt{\frac{3 \cdot 0,4}{40}} = 7,8 \text{ мм},$$

де  $\sigma_{\max} \leq 40$  МПа – найбільше допустиме напруження в тканинній основі.

Беремо  $S = 8$  мм.

Визначимо хід штока  $L$  для плоскої діафрагми за формулою [9]:

$$L = \frac{3 \cdot p \cdot D^4 \cdot (1 - \mu^2)}{256 \cdot E \cdot S^3} = \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 180^4 \cdot (1 - 0,4^2)}{256 \cdot 6 \cdot 10^2 \cdot 8^3} = 13,5 \text{ мм},$$

де  $\mu = 0,4$  – коефіцієнт Пуассона для матеріалу діафрагми;

$E = 6 \cdot 10^2$  МПа – модуль пружності для матеріалу діафрагми.

Беремо  $L = 14$  мм.

Виконаємо розрахунок верстатного пристрою на точність. До розрахункових параметрів, що в більшій мірі впливатимуть на досягнення заданих допусків оброблюваних поверхонь (отворів), зокрема, на відхилення від перпендикулярності

осі оброблюваного отвору щодо торця заготовки, буде допуск відхилення від паралельності установчої поверхні пальця щодо опорної поверхні корпусу пристосування, що в свою чергу буде визначати відхилення від перпендикулярності осі заготовки щодо поверхні столу верстата. Аналіз креслення деталі показав, що гранична величина перпендикулярності осі оброблюваного отвору щодо торця заготовки  $T_{\perp}$  не задана. Для нормального рівня відносної точності величина  $T_{\perp}$  може бути визначена як 60% допуску на діаметр оброблюваного отвору (тобто 0,52 мм):  $T_{\perp} = 0,6 \cdot 0,52 = 0,312$  мм. Беремо  $T_{\perp} = 0,3$  мм.

Тож допустиму похибку пристрою визначимо за формулою

$$E_{np} = T - K \sqrt{(K_1 \cdot E_{\delta})^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{zn}^2 + E_n^2 + (K_2 \cdot \omega)^2}, \quad (2.7)$$

де  $K = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального закону розподілення окремих складових рівняння;  $K_1 = 0,8$  – коефіцієнт, що враховують для випадків, коли  $E_{\delta} \neq 0$ ;  $E_{\delta}$  – похибка базування (у нашому випадку за умови установки заготовки по отвору на оправку з зазором має місце похибка базування у радіальному напрямку. Вона не впливає на розглянутий параметр точності), беремо  $E_{\delta} = 0$  мкм;  $E_3$  – похибка закріплення (не впливає на точність оброблюваних поверхонь в радіальному напрямку), беремо  $E_3 = 0$  мкм;  $E_y$  – похибка установки верстатного пристрою на столі верстата; беремо  $E_y = 0$  мкм, оскільки початкове положення ріжучого інструменту буде налагоджуватися окремо для кожної окремої заготовки;  $E_{zn}$  – похибка від зношення установчих елементів пристрою, беремо  $E_{zn} = 0$  мкм, оскільки цю похибку можна компенсувати налагодженням ріжучого інструменту;  $E_n$  – похибка установки і перекосу інструмента на верстаті, беремо  $E_n = 100$  мкм;  $K_2 = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки оброблення поверхонь;  $\omega = 200$  мкм – середня економічна точність обробки, беремо згідно з рекомендаціями [6].

Для зазначених умов маємо:



$$E_{np} = 300 - 1,2\sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 100^2 + (0,6 \cdot 200)^2} \approx 112,6 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних беремо допуск непаралельності посадочної поверхні пальця щодо установчої поверхні корпусу верстатного пристрою – 100 мкм.

Будова та принцип дії верстатного пристрою. Пристрій складається з корпусу 6, на якому гвинтами 15 зафіксований палець 2 з установчою поверхнею  $\varnothing 164/\varnothing 96f8$ . Палець 2 має центруючу частину  $\varnothing 96f8$  й стрижень, в який запресовані дві втулки, що спрямовують шток 10. Шток 10 з'єднаний з діафрагмою 1, до складу якої, як складальної одиниці, входить власне діафрагма та дві тарілки (диски), з'єднані заклепками. Безштокову порожнину камери закрито кришкою 7. Для закріплення заготовки на шток установлюється шайба 9. Кутове положення заготовки фіксується упором 3, який встановлюється на корпус по штифтах 26 і фіксується гвинтами 16. Почергова подача стиснутого повітря до штокової та безштокової порожнини пневмокамери відбувається через отвори у корпусі 6, які з'єднані з розподільним краном (на кресленні верстатного пристрою не вказано). Для точної орієнтації пристрою на столі верстата до основи корпусу 6 кріпляться дві установчі призматичні шпонки 25.

Пристосування працює так. Заготовку установлюють на поверхні  $\varnothing 164/\varnothing 96f8$  і  $\varnothing 96f8$ , а бокова поверхня квадратного фланця заготовки підводиться до зіткнення з упором 3. Потім встановлюють швидкознімну шайбу 9. Під час подачі повітря до штокової порожнини камери заготовка закріплюється. Після закінчення оброблення поверхонь заготовки повітря подається до безштокової порожнини – заготовка розкріплюється.

Розроблена конструкція пристосування є досить простотою і не вимагає для експлуатації особливих навичок та кваліфікації.

## 2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Згідно з завданням необхідно спроектувати контрольно-вимірювальне пристосування (КВП) для контролю радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 125f7$  з допуском 0,02 мм щодо центрального отвору деталі  $\varnothing 72H7$  (база «Д», див. креслення деталі у додатку А цієї роботи).

Допуск радіального биття 20 мкм для поверхні  $\varnothing 125f7$  відповідає 5 ступеню точності згідно з [4]. Шорсткість контрольованої поверхні –  $Ra = 1,6$  мкм.

На цей час контроль радіального биття поверхні деталі здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема, патрона токарного верстата і магнітної індикаторної стійки. Ні метод, ні засіб не можна визнати прийнятними, оскільки перевірка проводиться по черзі по кожному з биттів, із залученням верстатного устаткування, розташованого на механічній ділянці далеко від ділянки ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу оброблення та якості виробів. Крім того, великий вплив на якість контролю в даному випадку надають суб'єктивні фактори (з боку оператора), в зв'язку з чим похибка контролю може досягати 25%.

В цілому контроль радіального биття деталі не викликає будь-яких труднощів, оскільки простановка відхилень розташування поверхонь є вірною. При цьому є досить розвинені й точні базові поверхні. Є можливість дотриматися принципу суміщення баз.

Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним: беремо нормальний режим контролю згідно з ГОСТ 20736-75. Установимо такі показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [10, 11].

Радіальне биття поверхні обертання визначається сумарним відхиленням від циліндричної поверхні і відхиленням від співвісності щодо базової осі і чисельно дорівнює різниці найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перетині площиною, перпендикулярною до базової осі [12].

Виходячи з цього визначення, під час контролю радіального биття, останнє визначатимемо по колу циліндричної поверхні  $\varnothing 125f7$  на відстані (3 – 5) мм від краю контрольованої поверхні.

Визначимо кількісно параметри якості контрольованої поверхні.

Циліндрична поверхня  $\varnothing 125f7$  виконана з допуском 0,04 мм, що відповідає розмірній точності по IT7 ГОСТ 25347-82 [12]. Номінальний розмір – 125 мм. Верхнє відхилення  $e_s = -0,043$  мм; нижнє відхилення  $e_i = -0,083$  мм. Шорсткість поверхні – 1,6 мкм за критерієм Ra.

Точність форми контрольованої поверхні кресленням деталі не обумовлено. Тож розглянемо відхилення від круглості поверхні  $\varnothing 125f7$ . Так як допуск на точність форми поверхні не вказано, то ми приймаємо його в межах допуску на відповідний розмір. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск круглості становить 30% від допуску на розмір:

$$T_{\bigcirc} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 125f7} = 0,3 \cdot 0,04 = 0,012 \text{ мм,}$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,012 мм за 6-м ступенем точності згідно з [12].

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на роль базової може лише поверхня центрального отвору  $\varnothing 72H7$ , щодо якої і заданий контроль радіального биття. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та вимірювальної баз, що визначають контроль заданого параметра. Визначимо кількісно параметри точності зазначеної поверхні.

Отвір  $\varnothing 72H7$  виконано з точністю по IT7 і допуском 0,03 мм, ГОСТ 25347-82. Номінальний розмір – 72 мм. Верхнє відхилення  $E_S = +0,03$  мм; нижнє –  $E_I = 0$  мм. Шорсткість поверхні – 0,8 мкм за критерієм Ra.

Точність форми поверхні  $\varnothing 72H7$  на кресленні деталі обумовлена через допуск циліндричності – 20 мкм.

Аналізуючи параметри точності отвору  $\varnothing 72H7$  можна прийти до висновку про придатність даної поверхні на роль базової. В цьому випадку отвір  $\varnothing 72H7$  з встановленою в нього розтискною оправкою визначатиме подвійну напрямну базу, що позбавляє деталь 4-х ступенів свободи: 2-х поступальних переміщень уздовж осей X і Y (при вертикальному розташуванні центральної осі деталі (осі Z)) і 2-х обертань навколо осей X і Y. Нижній торець деталі буде виконувати роль опорної бази. При цьому деталь буде позбавлена ще одного ступеня свободи: поступального переміщення уздовж осі Z. Вакантним залишається обертання навколо центральної осі Z, див. рисунок 2.6. Якість торцевої поверхні деталі, яка буде виконувати роль опорної бази при установці деталі в пристосуванні, на точність контролю впливу не здійснює.

Під час процесі контролю радіального биття поверхні, вісь деталі буде розташовуватись вертикально, в зв'язку з чим сили гравітації будуть притискати деталь до опорних поверхонь пристрою. Однак, для контролю радіально биття поверхні  $\varnothing 125f7$  необхідно, щоб вісь трикулачкової гідропластової оправки, яка буде використовуватися в проектованому пристрої, самоустановлювалась за віссю отвору  $\varnothing 72H7$ . Тому, під час установки в отвір поверхні гільзи оправки, останній необхідно надавати незначне зусилля розтискання, що дозволить усунути гарантований зазор між ними та отвором і, отже,  $\varepsilon_3 \neq 0$ .

Контроль заданого параметра буде проводитися безпосередньо на столі ВТК, розташованому поруч з механічним ділянкою. Звідси можна зробити висновки про не зовсім сприятливі умови експлуатації проектованого 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 –  $P_{am} = 86 - 106$  кПа; швидкість руху повітря –  $V_B \leq 0,5$  м/с. Частота вібрацій, спричинена верстатами –  $f = 20 - 30$  Гц. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітленість. Тому поряд із загальним передбачимо місцеве освітлення з  $E_{\phi} = 1000$  люкс.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому, оскільки його простіше здійснити при контролі радіального биття

контрольованої поверхні. При цьому немає необхідності в перерахунку контрольованих параметрів і отримується точність цілком достатня для контрольованих допусків.

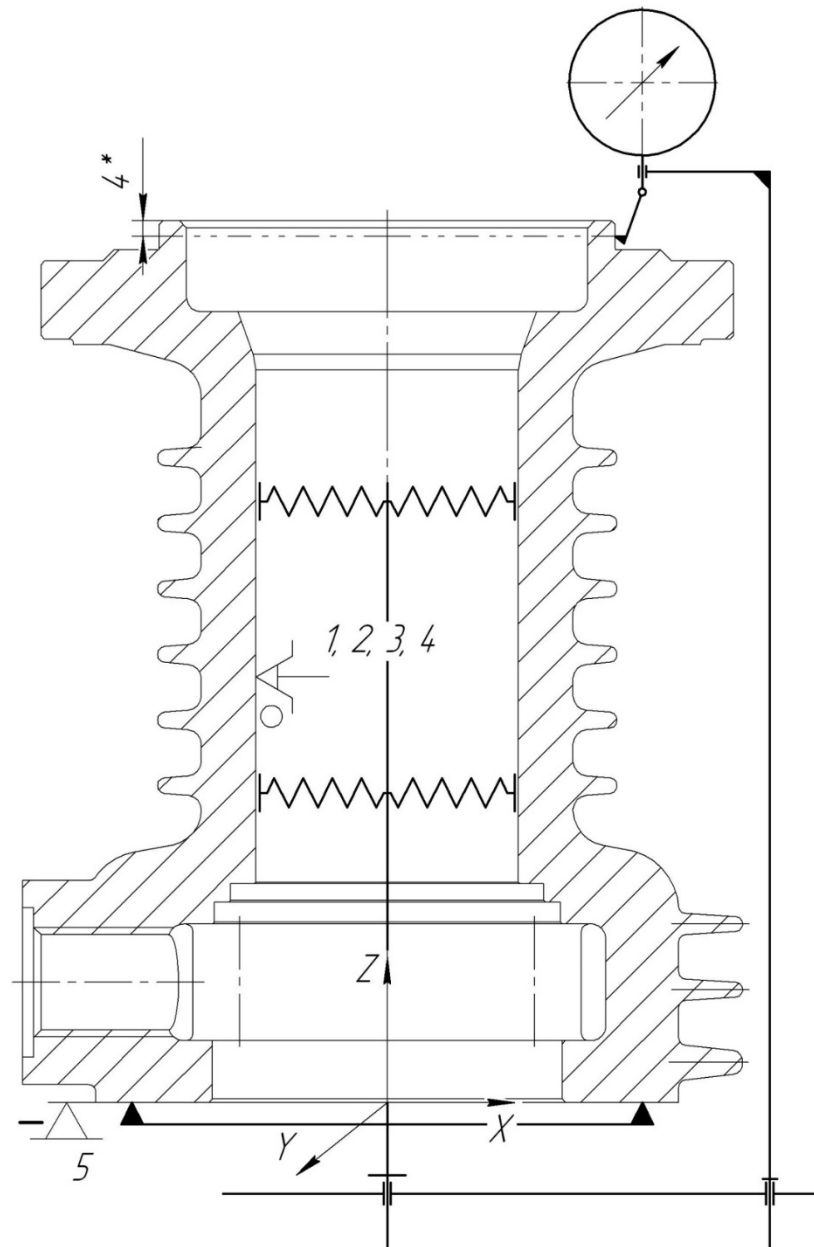


Рисунок 2.6 – Схема базування та контролю деталі

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу

деталі досить високі і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми при радіусі сфери не менше 1 мм.

З огляду на значну твердість контрольованої поверхні, геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 500 сН (5 Н). В цьому випадку очікувану похибку від вимірювального зусилля визначимо за відомою формулою

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{yc}^2}{r}}, \quad (10.1)$$

де  $\Delta_{yc}$  – величина похибки спричиненої контактною деформацією, мкм;

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

$P_{zyc}$  – вимірювальне зусилля, Н;

$r$  – радіус сфери наконечника, мм.

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot 0,81 \sqrt[3]{\frac{5^2}{1}} \approx 1,02 \text{ мкм.}$$

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

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 еталона.

Виходячи з передбачуваної структури потоку функцій, що реалізує 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 почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних і характеристик надійності, якими має володіти засіб вимірювання (ЗВ).

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина допуску ІТ контрольованого параметра, зокрема, радіального биття контрольованої поверхні:

$$[\delta_{вим}] = K \cdot IT,$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від якості точності чи ступеня точності контрольованої поверхні.

Тож:

$$[\delta_{вим}] = 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ мкм.}$$

Визначимо допустиму похибку ЗВ, тобто «інструментальну похибку» [10, 11]:

$$[\Delta_{ін}] = 0,7 \cdot [\delta_{изм}],$$

$$[\Delta_{in}] = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ мкм.}$$

Ціну поділки ЗВ визначимо залежно від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ. Беремо  $[C] = [\Delta_{in}] = 4,2 \text{ мкм.}$

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 робочої зони.

Межа вимірювань за шкалою ( $A$ ) повинна перевищувати допуск  $IT$ , щоб зчитування показань не викликало утруднень. Беремо:

$$[A] = 4 \cdot IT = 4 \cdot 20 = 80 \text{ мкм} = 0,08 \text{ мм.}$$

Межа вимірювань ЗВ (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації ЗВ. Беремо  $B = 0,1 \text{ мм.}$

Вимірювальне зусилля  $P_{зус}$  обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Оскільки обмеження на його величину відсутні, приймаємо  $P_{зус} = 500 \text{ сН.}$

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

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання  $t(P)$  до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи  $P$ . Відповідно до РД 50-650-87 обговоримо кількість циклів вимірювань, що забезпечують задану кількість контрольних операцій:  $t(P) = 6000 \text{ циклів.}$

Виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування беремо величину ймовірності безвідмовної роботи  $P = 0,85.$



Згідно існуючим цінам на вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання ЗВ:  $C = 1600$  грн.

Після того, як стали відомі допустимі значення за метрологічними, експлуатаційними показниками, показниками надійності, можна приступити до пошуку ЗВ. Прийнятним вважається такий ЗВ, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимим:  $\Delta_{in} \leq [\Delta_{in}]$ ;  $a \geq [a]$ ;  $A \geq [A]$ ;  $B \geq [B]$ ;  $P_{зус} \leq [P_{зус}]$ ;  $c \leq [c]$ ;  $\Delta P \leq [\Delta P]$ ;  $t(P) \geq [t(P)]$ ;  $P \geq [P]$ ;  $C \leq [C]$ .

Пошук здійснюємо відповідно з паспортами й таблицями технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близькою за показниками для контролю радіального биття є чутлива важільна вимірювальна головка ТЕЗАТАСТ 01810013 виконання «Латераль», яка має такі метрологічні характеристики:

- ціна поділки шкали – 2 мкм;
- модель (номінальний діаметр циферблата) – 28 мм;
- діапазон індикації – 0,2 мм;
- відтань між штрихами шкали – 1,5 мм;
- зусилля вимірювання – 0,15 Н;
- діапазон загальної похибки – 3,5 мкм максимум.

Аналіз показує, що для вибраної моделі ЗВ задані умови точності, надійності й економічності виконуються:

$$\Delta_{in} = 0,0035 < 0,0042 = [\Delta_{in}]; \quad C = 0,0035 < 0,0042 = [C];$$

$$P_{зус} = 0,15 \text{ Н} < 500 \text{ сН} = [P_{зус}]; \quad \Delta P_{зус} = 2 \text{ сН} < 100 \text{ сН} = [\Delta P_{зус}];$$

$$a = 1,5 \text{ мм} < 2 \text{ мм} = [a]; \quad A = 0,2 \text{ мм} > 0,08 \text{ мм} = [A];$$

$$B = 0,2 \text{ мм} > 0,1 \text{ мм} = [B]; \quad P = 0,9 > 0,85 = [P];$$

$$t(P) = 100000 > 6000 = [t(P)]; \quad Ц = 1520 \text{ грн} < 1600 \text{ грн} = [Ц].$$

Інші ЗВ мають надлишкову точність або меншу надійність. Тому для нашого КВП найбільш підходящим вважаємо чутливу важільну вимірювальну головку ТЕЗАТАСТ 01810013 виконання «Латераль».

При контролі радіального биття контрольованої поверхні деталі сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_6^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{ін}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{зус}^2},$$

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

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2},$$

де  $\varepsilon_0 = 0$  мкм – похибка базування (за умови використання самоцентруючої розтискної оправки);

$\varepsilon_3 = 3$  мкм – похибка закріплення;

$\varepsilon_{np} = 3$  мкм – неточність виготовлення елементів пристосування, що беруть участь у формуванні розмірної ланцюга. У нашому випадку на контроль заданих параметрів будуть впливати неточності виготовлення підшипників кочення, які використовуються в механізмі обертання деталі. Останні можна виготовляти за умови селективного складання з точністю до 3 мкм, тобто  $\varepsilon_{np} = 3$  мкм:

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 3^2 + 3^2} = 4,2 \text{ мкм},$$

$\Delta_6$  – похибка передаточного пристрою. За умови відсутності передаточного пристрою в конструкції КВП беремо  $\Delta_6 = 0$ ;

$\Delta_e$  – похибка виготовлення еталонної деталі. За умови відсутності еталону під час вимірювання радіального биття беремо  $\Delta_e = 0$ ;

$\Delta_{in}$  – похибка вибраного засобу вимірювання, беремо  $\Delta_{in} = 2,5$  мкм;

$\Delta_{зус}$  – похибка, спричинена вимірюваним зусиллям за рахунок контактної деформації контрольованої поверхні. Беремо  $\Delta_{зус} = 0,098$  мкм (для  $P_{зус} = 0,15$  Н й  $r = 1$  мм);

$\Delta_t$  – похибка, спричинена коливанням температури навколишнього середовища. За умови вирівнювання температур контрольованого виробу та КВП беремо  $\Delta_t = 0$ .

Таким чином похибка КВП становитиме:

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{4,2^2 + 0^2 + 0^2 + 2,5^2 + 0,098^2 + 0^2} \approx 4,925 \text{ мкм} < 6 \text{ мкм} = [\delta_{вим}],$$

значить, спроектований КВП з контролю радіального биття є працездатним.

Спроектований пристрій складається з корпусу 9, в центральній частині якого за допомогою шести гвинтів 16 закріплений фланець 10. В останньому, в двох кулькових упорних підшипниках 17 і 18 встановлено шпindel 11 з гідропластовою оправкою 1. У середній частині оправки 1 розташований спеціальний гвинт під ключ, призначений для створення тиску в гідропластовій розтискній оправці. У правій частині корпусу 9 з чотирма гвинтами 15 закріплена індикаторна стійка 2 з індикатором 20.

Контрольована деталь посадковим отвором  $\varnothing 72H7$  до упору в нижній торець встановлюється на гідропластову оправку 1. Після закріплення деталі на оправці 1, за рахунок загвинчування ключем спеціального гвинта в середній частині оправки, вісь останньої самоустановлюється за віссю отвору  $\varnothing 72H7$  мм контрольованої деталі. Потім до контрольованої поверхні деталі підводиться вимірювальний наконечник індикатора 20. Індикатор виставляється на нуль. Після повороту деталі на  $360^\circ$  по різниці найбільшого й найменшого показань індикатора 20 судять про величину радіального биття контрольованої поверхні.

## 2.11 Висновок

В результаті аналізу існуючого технологічного процесу виготовлення деталі спроектовано перспективний технологічний процес обробки заготовки, що враховує останні досягнення науки та техніки. Зокрема виконані такі види робіт:

1. Обґрунтовано вибір способу отримання вихідної заготовки – лиття в кокіль.
2. Розроблено раціональний маршрут обробки заготовки.
3. Уточнено з використанням аналітичного методу операційні припуски та розміри на оброблення циліндричного отвору діаметром 72Н7.
4. Обґрунтовано вибір схем базування, металорізальних верстатів та оснастки на комплексну та хонінгувальну технологічні операції. Для зазначених операцій визначені раціональні режими різання та технічні норми часу.
5. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій для установки заготовки на комплексній операції. Для оптимізації конструкції верстатного пристрою пропонується дослідження системи «пристрій-заготовка» методами статичного та динамічного аналізу.
6. Спроектовано спеціальний КВП для контролю радіального биття поверхонь деталі.

## РОЗДІЛ 3

### СТАТИЧНИЙ ТА ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ «ПРИСТРІЙ-ЗАГОТОВКА»

#### 3.1 Актуальність дослідження

Проектування верстатного пристрою є складним завданням, що потребує від проєктанта значного досвіду та навичок. Якщо окремі етапи проектування пристрою, пов'язані зокрема, з розрахунками похибок базування заготовки, розрахунками необхідних і достатніх сил закріплення, визначенням параметрів механізованих приводів закріплення заготовки, на цей час формалізовані та не викликають особливих проблем, то питання конструювання, пов'язані з вибором конкретних конструктивних рішень є досить складним і зазвичай вирішуються на інтуїтивно, залежно від досвіду проєктанта. Саме тому дослідження пропонованої в п. 2.9 цієї роботи конструкції верстатного пристрою є актуальним завданням, що має бути реалізовано з використанням методів, забезпечуючих оцінювання прийнятих рішень за якісними та кількісними ознаками.

#### 3.2 Методи дослідження

На цей час для дослідження конструкцій технічних систем актуальним є використання методів статичного (Static Structure) та динамічного (Modal) аналізу, в основі яких знаходиться метод скінчених елементів. Метод статичного аналізу дозволяє дослідити стійкість конструкції під дією статичних зовнішніх збурень. Для системи «пристрій-заготовка» такими збуреннями можуть бути сили та моменти різання, що діють на заготовку під час оброблення її поверхонь, та сили закріплення (сили або моменти тертя), що утворює верстатний пристрій для забезпечення постійності положення заготовки. Статичний аналіз дозволяє відстежити можливі деформації окремих елементів досліджуваної системи,

внутрішні напруження, що спостерігаються в їх матеріалі, та порівняти їх величини з допустимими. Динамічний аналіз дозволяє визначити здатність досліджуваної конструкції протидіяти динамічним навантаженням, джерелом яких, як приклад, може бути процес різання.

На цей час найбільш потужним і поширеним програмним засобом, що реалізує обидва методи аналізу є пакет математичного аналізу Ansys Workbench. Вихідними даними для виконання статичного та динамічного аналізу досліджуваної конструкції є її геометрична модель та обмеження у вигляді масиву збурень (сил і моментів, що діють на заготовку з боку процесу різання та затискних елементів, та на елементи верстатного пристрою з боку його приводів).

Геометричну модель досліджуваної системи «пристрій-заготовка» розробимо з використанням пакету графічного інженерного дизайну Компас-3D. При цьому до складу досліджуваної системи додаємо тільки ті елементи, що беруть участь у реалізації силової взаємодії між окремими збуреннями та реакціями опор, див. рисунок 3.1.

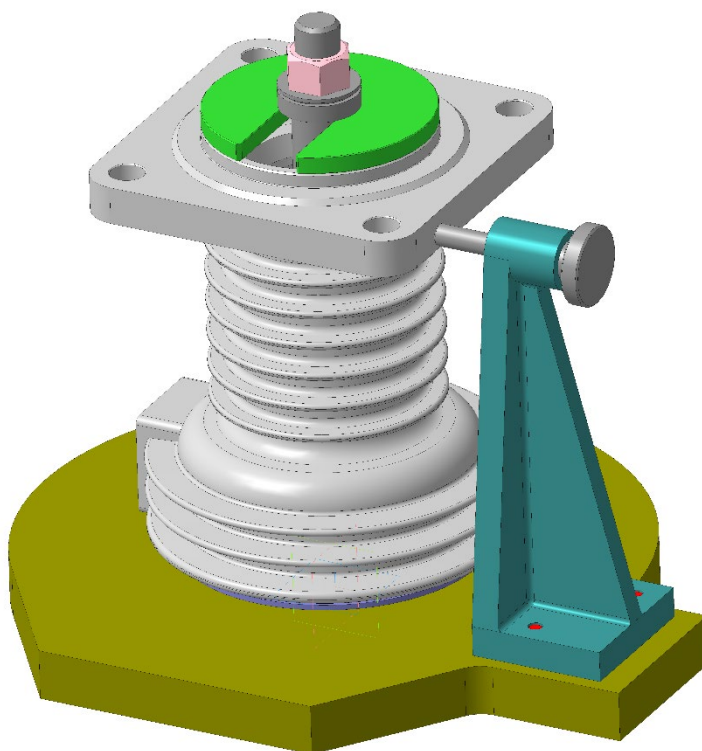


Рисунок 3.1 – Геометрична модель системи «пристрій-заготовка» (Компас-3D)

На рисунку 3.2 подано геометричну модель досліджуваної системи, імпортовану до пакету Ansys.

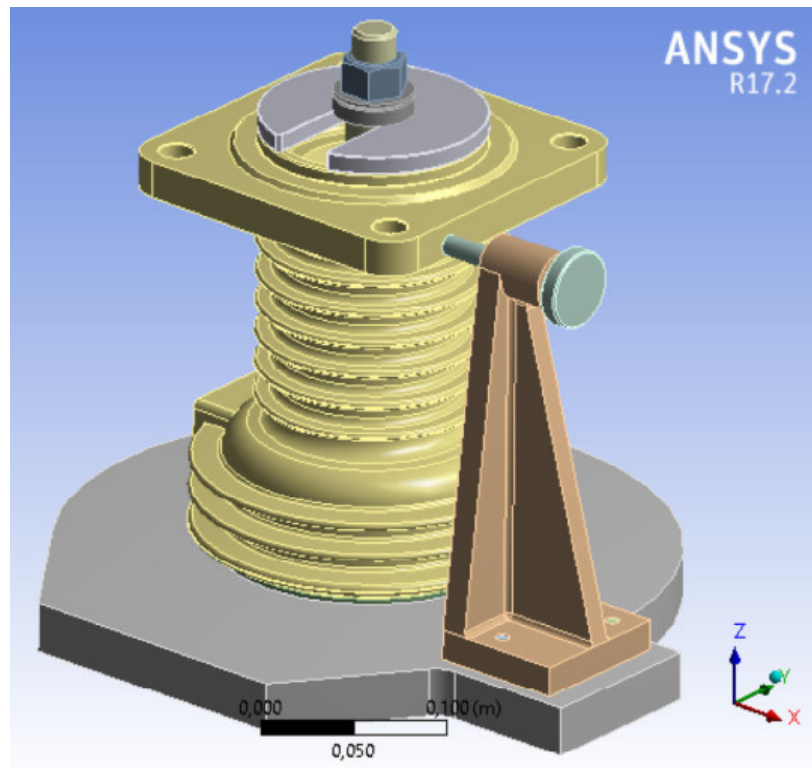


Рисунок 3.2 – Імпорт геометричної моделі системи «пристрій-заготовка» (Ansys)

Для підвищення адекватності розрахункової моделі необхідно задати певні граничні обмеження.

Так, за результатами розрахунків визначено, що під час свердління отворів на заготовку з боку процесу різання діє осьова сила різання  $P_o = 1800$  Н та момент різання  $M_p = 8,3$  Н·м. Для забезпечення стійкого положення заготовки на неї діє сила закріплення, що утворюється механізованим приводом закріплення через силу на штоку  $P_z = 7056$  Н.

Також маємо задати характеристики контакту спряжених поверхонь окремих елементів системи. Так, контакт поверхонь в системі «заготовка-упор» можна охарактеризувати як тертя ковзання з коефіцієнтом тертя 0,2 (див. рисунок 3.4). Спряження поверхонь штоку та пальця можна задати як відсутність тертя (див. рисунок 3.5).

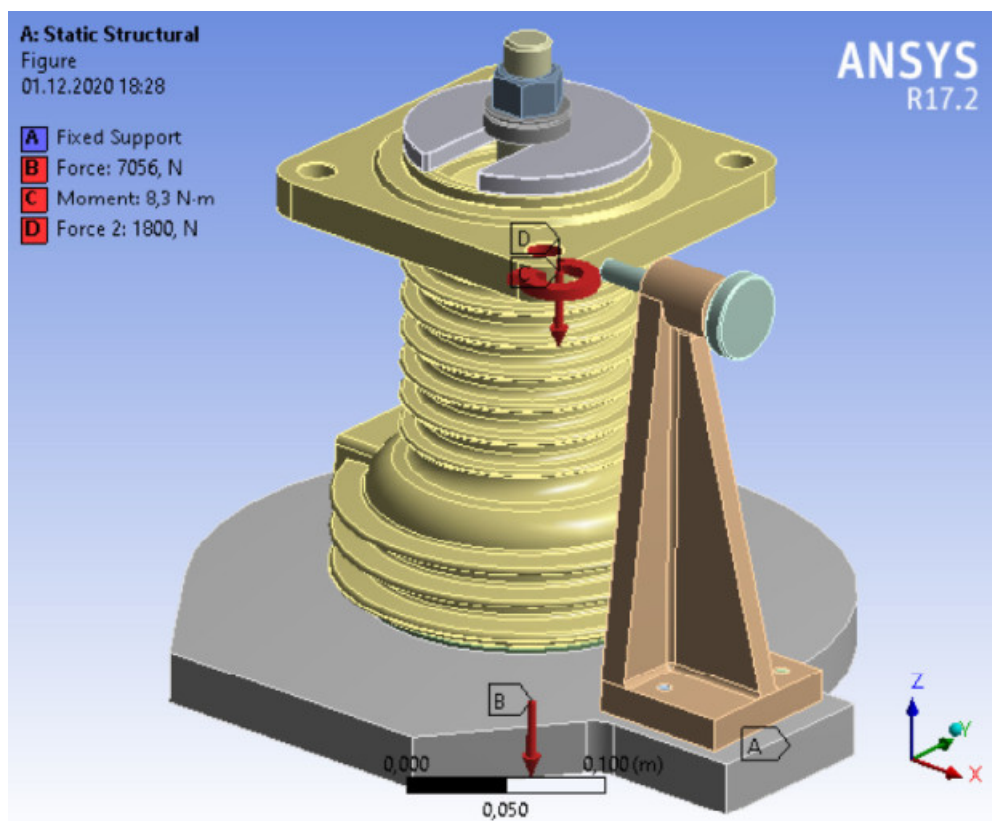


Рисунок 3.3 – Граничні обмеження для системи «пристрій-заготовка»

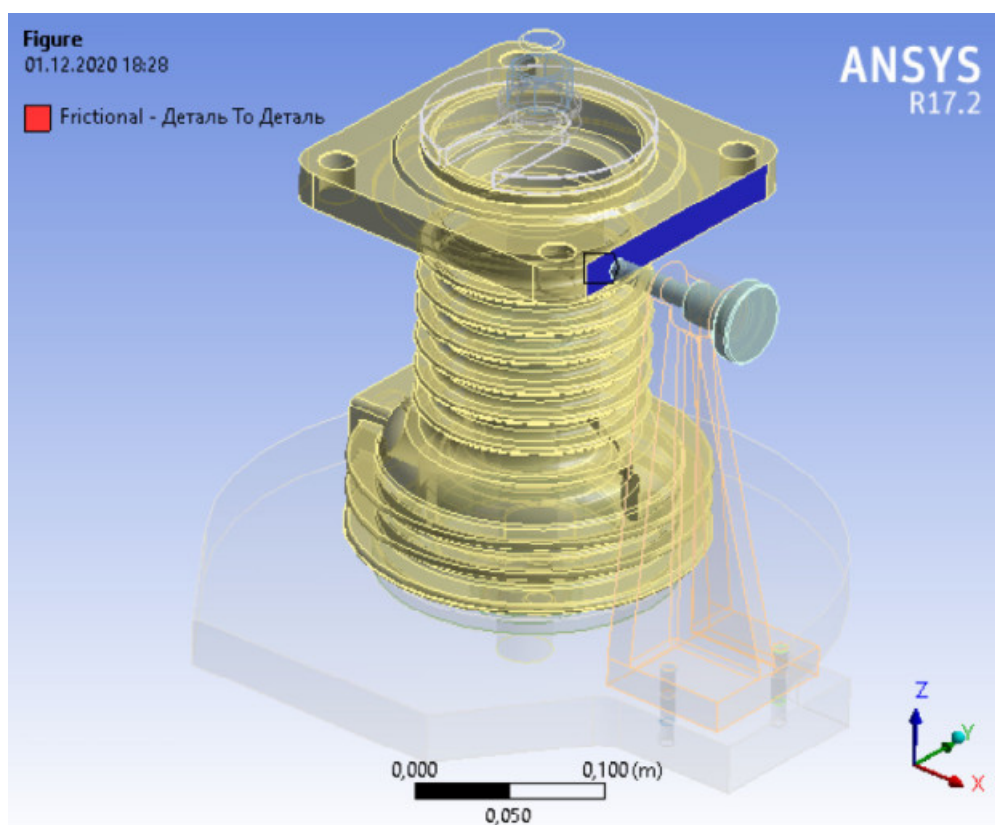


Рисунок 3.4 – Характеристика спряження поверхонь системи «заготовка-упор»



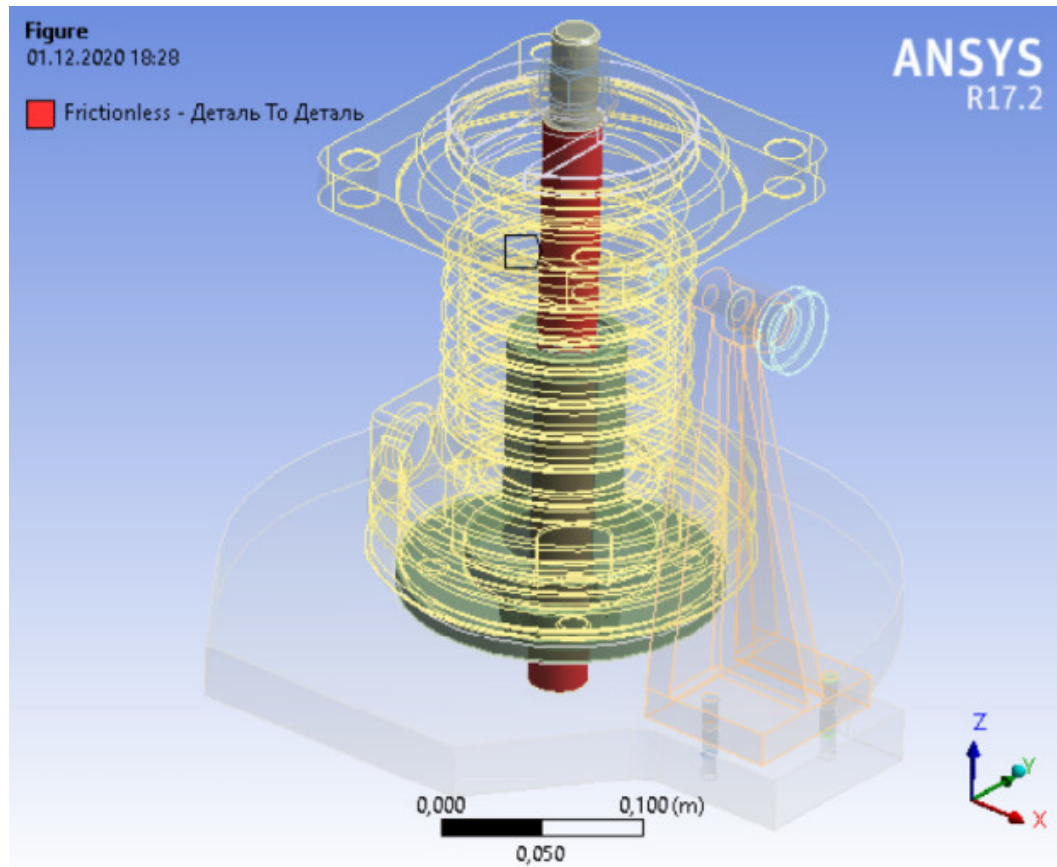


Рисунок 3.5 – Характеристика спряження поверхонь системи «шток-палець»

Властивості матеріалів елементів досліджуваної системи беремо за замовчуванням для пакету Ansys (як для середньовуглецевої конструкційної сталі): межа міцності – 460 МПа, модуль Юнга –  $2 \cdot 10^5$  МПа.

Побудову сітки скінчених елементів здійснюємо в автоматичному режимі: кількість елементів – 79093, мінімальна довжина грані скінченого елемента – 0,64 мм.

### 3.3 Результати статичного аналізу досліджуваної системи

В результаті виконання статичного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» зокрема отримані епюри деформацій (див. рисунок 3.6) та внутрішніх напружень (див. рисунок 3.7).

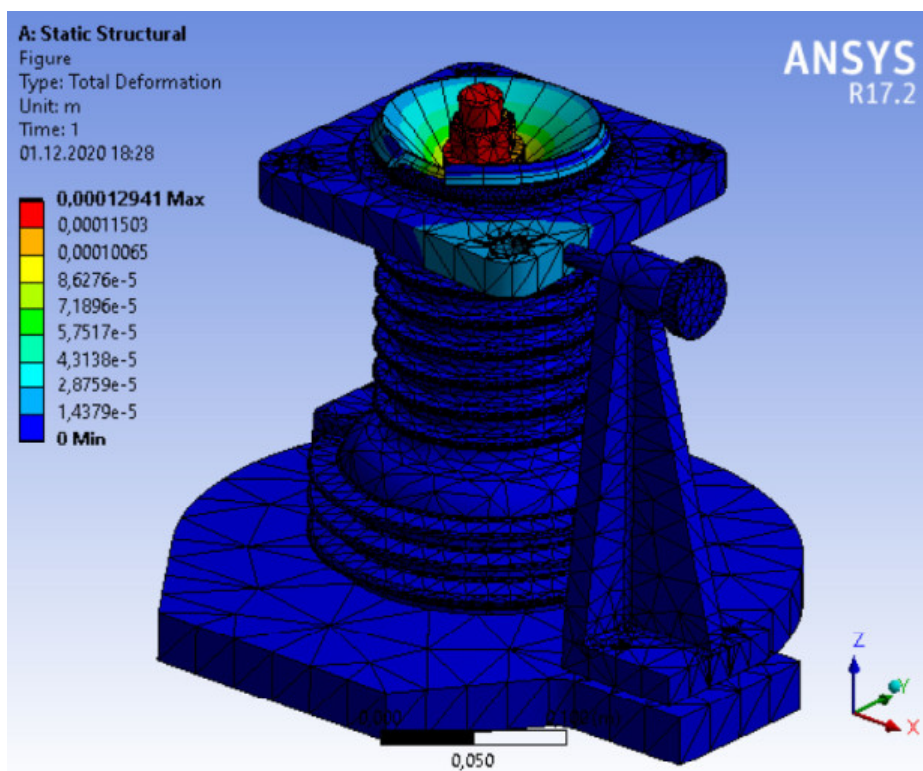


Рисунок 3.6 – Епюра деформацій системи «пристрій-заготовка»  
 (виконання 1)

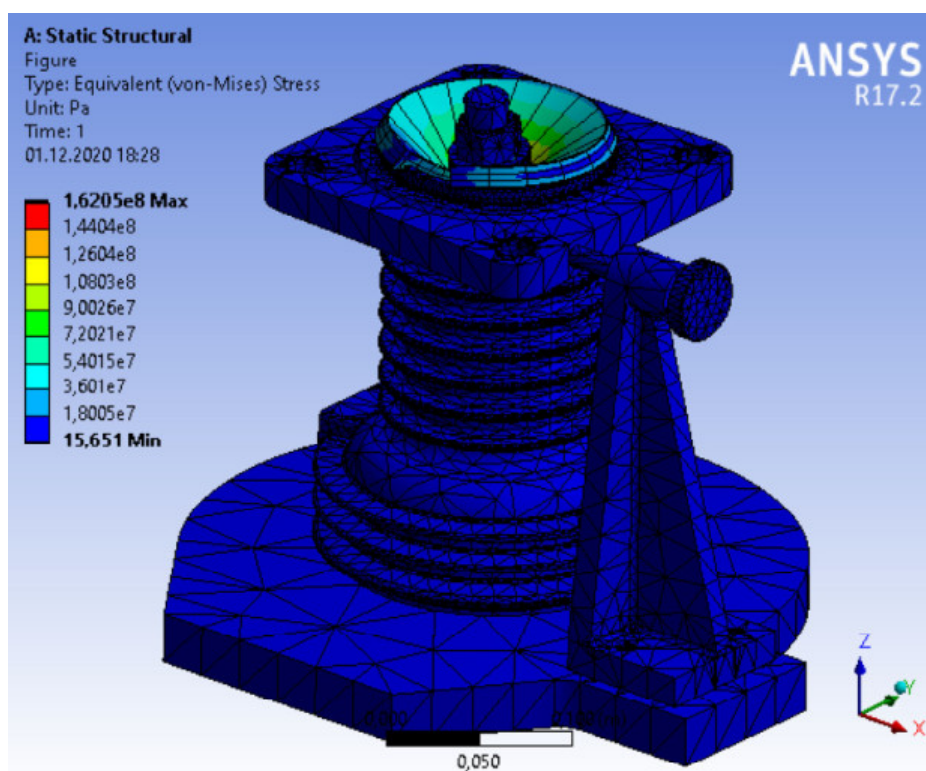


Рисунок 3.7 – Епюра внутрішніх напружень системи «пристрій-заготовка»  
 (виконання 1)

Аналіз епюри деформацій (див. рисунок 3.6) показав, що найбільший рівень деформацій характерний для деталі штока та становить 0,13 мм. Ця деформація пояснюється кінематикою рухів штока. Відповідно до принципу дії верстатного пристрою штока має здійснювати періодичні поступальні рухи у вертикальному напрямку. Так, для закріплення заготовки штока має рухатися вниз. В той же час деформація шайби-прихвата має пружний характер та становить 0,11 – 0,12 мм. В цілому це є прийнятним: шайба-прихват не визначає точність розміщення заготовки у пристрої, тож безпосередньо не впливає на точність оброблення її поверхонь.

Аналіз епюри напружень (див. рисунок 3.7) показав, що найбільший рівень напружень характерний для шайби-прихвата та становить 162 МПа, що є досить значною величиною та викликає сумніви щодо прийнятності. Для порівняння, межа міцності конструкційної сталі становить 460 МПа. Тож напруження у 162 МПа становлять 35%. На нашу думку, такий високий рівень внутрішніх напружень вимагає коригування, зокрема, параметрів конструкції шайби-прихвата. Враховуючі, що такий рівень напружень утворюється в результаті силового впливу штоку в осьовому напрямку, пропонується посилення конструкції шайби-прихвата в осьовому напрямку шляхом збільшення її товщини. Пошуковий експеримент дозволив установити, що збільшення товщини шайби з 10 мм до 22 мм дозволяє зменшити рівень внутрішніх напружень в матеріалі шайби до допустимих 41,6 МПа (див. рисунок 3.8). Рівень пружних деформацій шайби при цьому становить 25 – 30 мкм (див. рисунок 3.9).

Аналіз епюри деформацій, зображеної на рисунку 3.9 показує що в зоні оброблюваного отвору пружні деформації заготовки становлять близько 20 – 30 мкм, що є негативним фактором з точки зору забезпечення точності оброблених поверхонь. Такі деформації, зокрема, можуть викликати підвищене відхилення осі оброблюваного отвору від перпендикулярності щодо поверхні квадратного фланцю. Для нівелювання цього фактору можна запропонувати зменшення швидкості подачі під час свердління отвору.

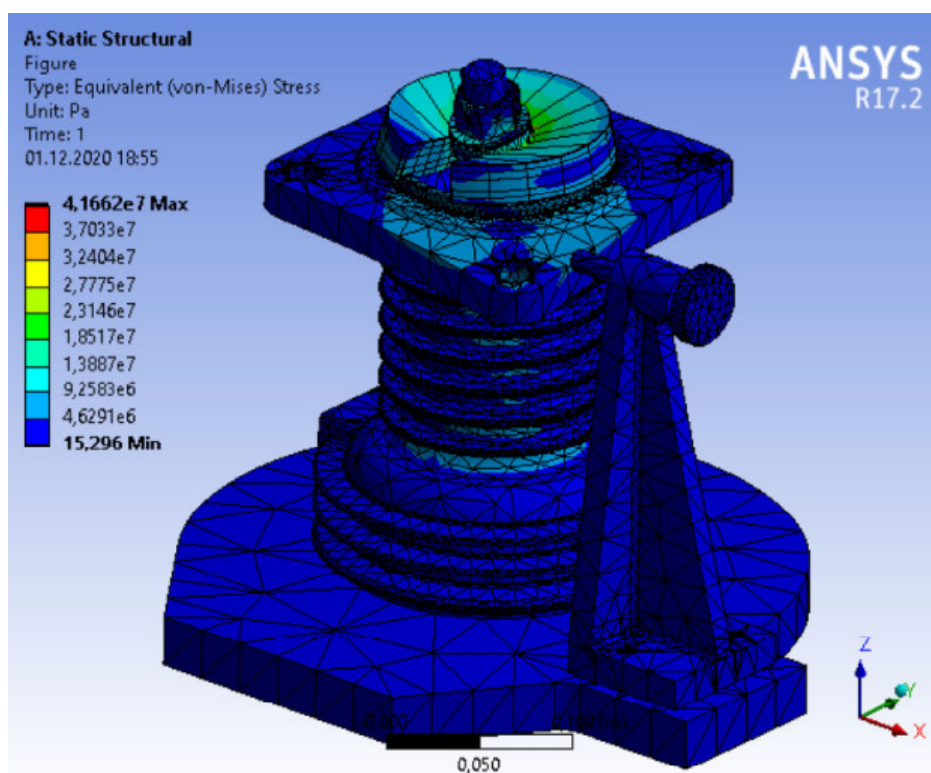


Рисунок 3.8 – Епюра внутрішніх напружень системи «пристрій-заготовка»  
 (виконання 2)

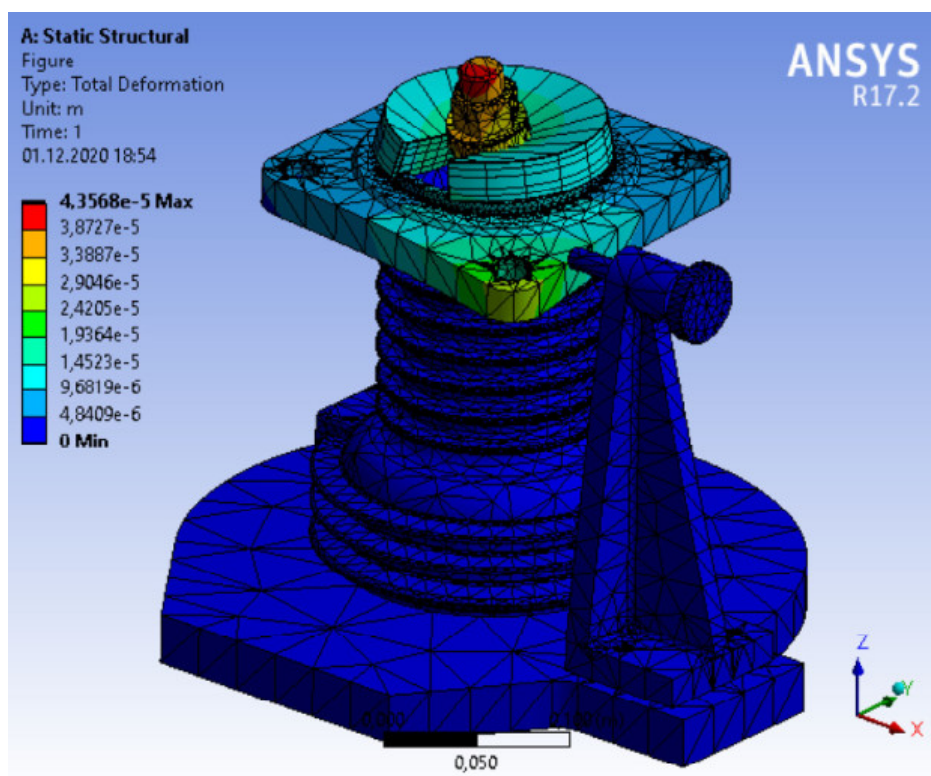


Рисунок 3.9 – Епюра деформацій системи «пристрій-заготовка»  
 (виконання 2)

### 3.4 Результати динамічного аналізу досліджуваної системи

В результаті проведення динамічного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» отримані епюри її перших трьох форм власних коливань (див. рисунки 3.10, 3.11, 3.12).

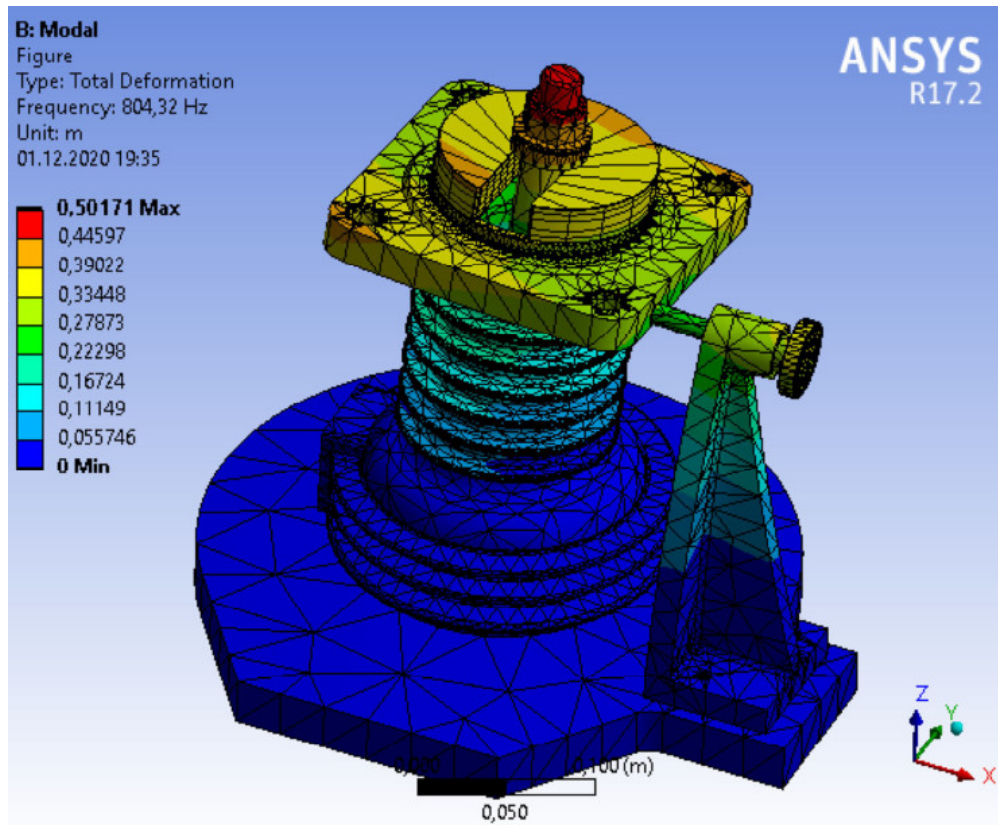


Рисунок 3.10 – Епюра деформацій першої форми власних коливань досліджуваної системи «пристрій-заготовка»

Як бачимо згідно з рисунками 3.10 та 3.11, дві перші форми власних коливань характерні для заготовки, як елемента досліджуваної системи. Перші дві форми власних коливань характеризуються вигином заготовки в поперечному напрямку у двох взаємно перпендикулярних площинах, що говорить про відносно малу жорсткість в поперечному перетині.

Третя форма власних коливань відповідає упору, як елементу досліджуваної системи (див. рисунок 3.12).

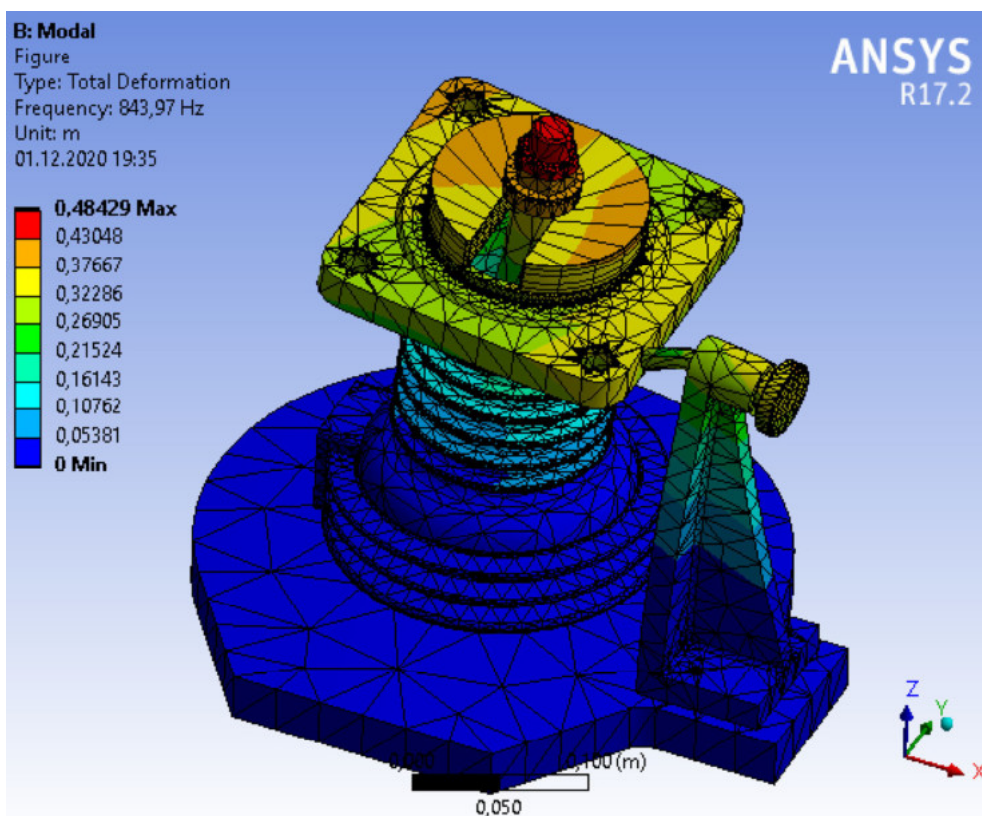


Рисунок 3.11 – Епюра деформацій другої форми власних коливань досліджуваної системи «пристрій-заготовка»

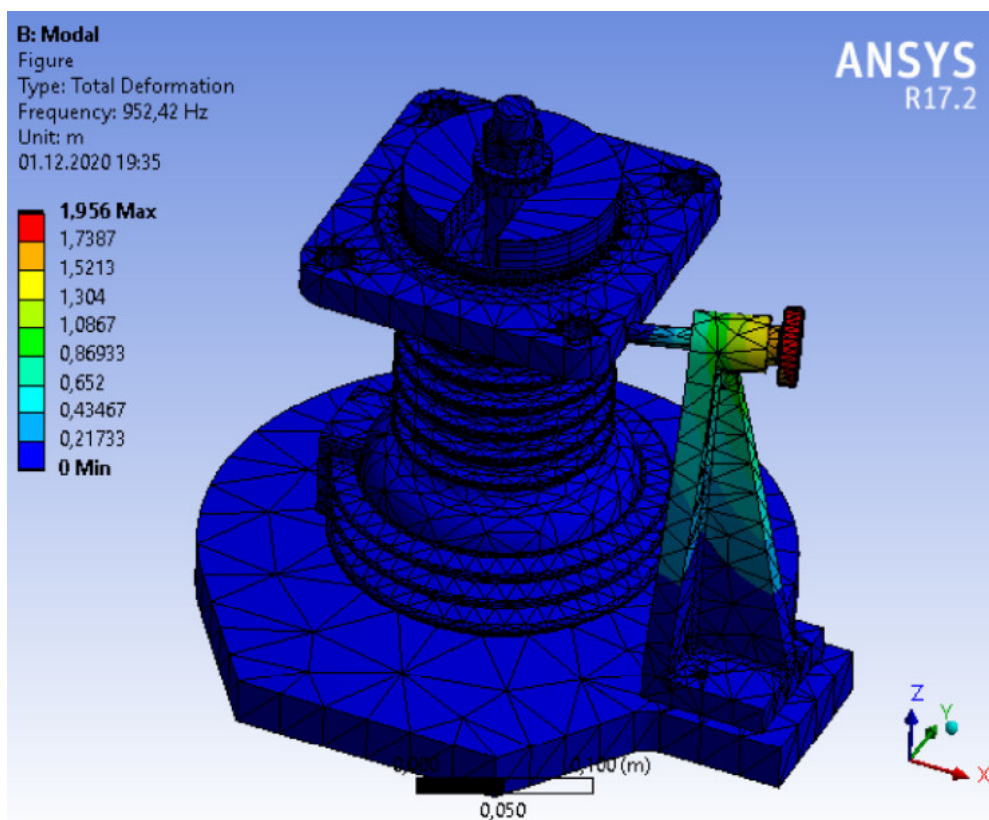


Рисунок 3.12 – Епюра деформацій третьої форми власних коливань досліджуваної системи «пристрій-заготовка»

На рисунку 3.13 подано розподілення частот власних коливань досліджуваної системи для перших шести форм коливань.

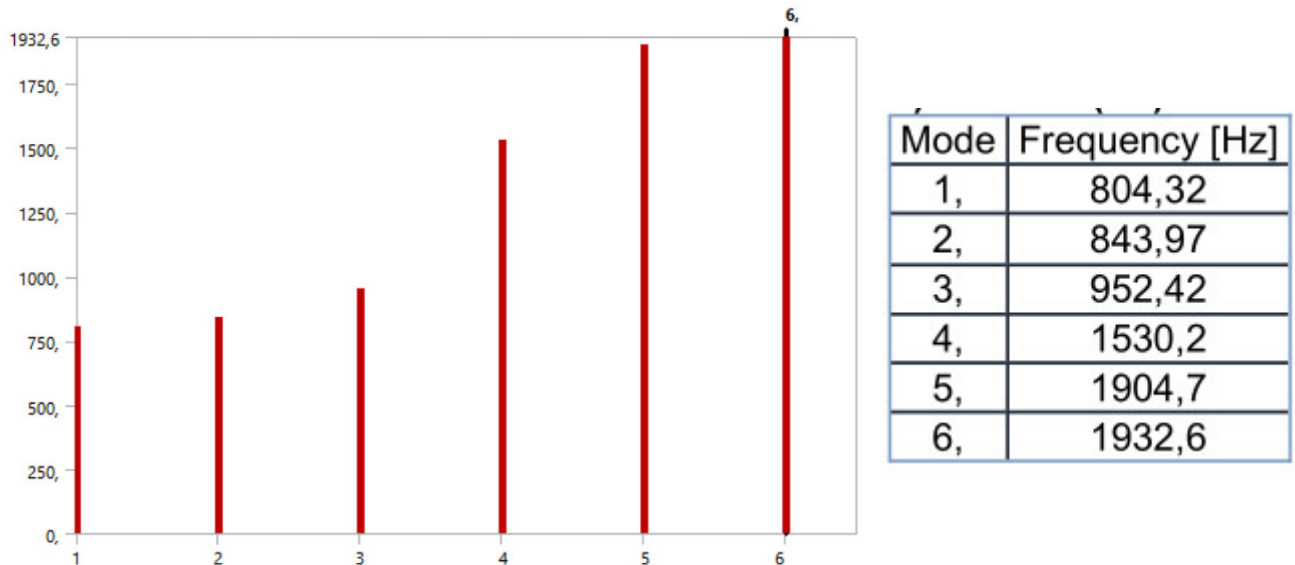


Рисунок 3.13 – Розподілення частот власних коливань досліджуваної системи

Розподілення частот власних коливань показує наявність досить високих величини частот, що є позитивним фактором: ймовірність виникнення резонансу під час оброблення поверхонь заготовки є мінімальною. Це пояснюється тим, що зазвичай частоти вимушених коливань, джерелами яких можуть бути процес різання, приводи верстатів тощо, мають відносно низькі значення.

Так, свердління отворів на розглянутій операції буде здійснюватися на частоті 800 об/хв, тобто 13,3 Гц. За умови використання свердла як ріжучого інструменту з двома лезами (зубцями) можна за першого наближення розглядати вимушені коливання з частотою  $13,3 \cdot 2 = 26,6$  Гц. Як бачимо частота вимушених коливань, джерелом яких є процес різання в даному випадку є дуже низькою порівняно з першою частотою власних коливань (804 Гц).

### 3.5 Висновок

В результаті дослідження запропонованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу можна зробити такі висновки:

1. Рівень пружних деформацій елементів досліджуваної системи «пристрій-заготовка» в умовах дії статичних навантажень є прийнятним.

2. Рівень внутрішніх напружень в матеріалах елементів досліджуваної системи в цілому є прийнятним. Однак для деталі шайба рівень внутрішніх напружень (162 МПа) є зависоким порівняно з межею міцності сталі (460 МПа). Збільшення товщини шайби з 10 мм до 22 мм дозволило знизити рівень напружень до прийнятних 41,6 МПа.

3. В умовах дії динамічних навантажень найбільш чутливими елементами досліджуваної системи показали себе заготовка та конструкція бокового упору. Тим не менш перші форми їх власних коливань характеризуються високими значеннями, що говорить про низьку ймовірність виникнення явища резонансу під дією динамічних навантажень, наприклад, з боку процесу різання.

4. Пропонована конструкція верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції характеризується достатньою жорсткістю та міцністю в умовах дії статичних та динамічних навантажень, що дозволяє забезпечити виконання технічних вимог щодо точності оброблюваних поверхонь згідно з кресленням деталі.



## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі «циліндр III ступеня» виявлені недоліки існуючої технології, основними з яких є низький рівень механізації та автоматизації виробництва, використання фізично та морально застарілого металорізального устаткування, що пояснюють низьку продуктивність та високу собівартість виготовлення виробів, нестабільність забезпечення точності оброблюваних поверхонь заготовки.

2. З урахуванням виявлених недоліків існуючої технології розроблено перспективний технологічний процес виготовлення деталі. При цьому запропоновано раціональний маршрут оброблення заготовки у урахуванням можливості дотримання принципів поетапності, інтеграції операцій, обґрунтовано вибір способу отримання вихідної заготовки, вибір схем базування та закріплення заготовки під час реалізації механічних операцій, вибір металорізального устаткування та оснастки (ріжучого, допоміжного інструменту, засобів вимірювання), визначені раціональні режими різання та технічні норми часу на механічні операції технологічного процесу, спроектовано верстатний пристрій для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції та пристрій для контролю радіального биття поверхонь деталі.

3. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень сформульовані рекомендації щодо вдосконалення запропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції з забезпечення його стійкої роботи в умовах дії статичних та динамічних навантажень.

4. У додатку Д цієї роботи розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Егоров М. Е. Технология машиностроения: учебник / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. – 2-е изд., доп. – М.: Высша школа, 1976. – 534 с.
2. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособ. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: Высшая школа, 1983. – 256 с.
3. ГОСТ 26645-85 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1989. – 54 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т.1 / Под ред.: А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
5. Кузнецов Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю.И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Б. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т.2 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
7. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч.1: Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – 206 с.
8. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении: учеб. пос. / В. С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1971. – 288 с.
9. Белоусов А. П. Проектирование станочных приспособлений: учеб. пос. / А. П. Белоусов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – 240 с.
10. Дунаев И. М. Организация проектирования системы технического контроля / Дунаев И. М., Скворцов Т. П., Чупырин В. Н. – М. : Машиностроение, 1981. – 191 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. – 527 с.

12. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Электронный ресурс] : в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев ; Под ред. И.Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.